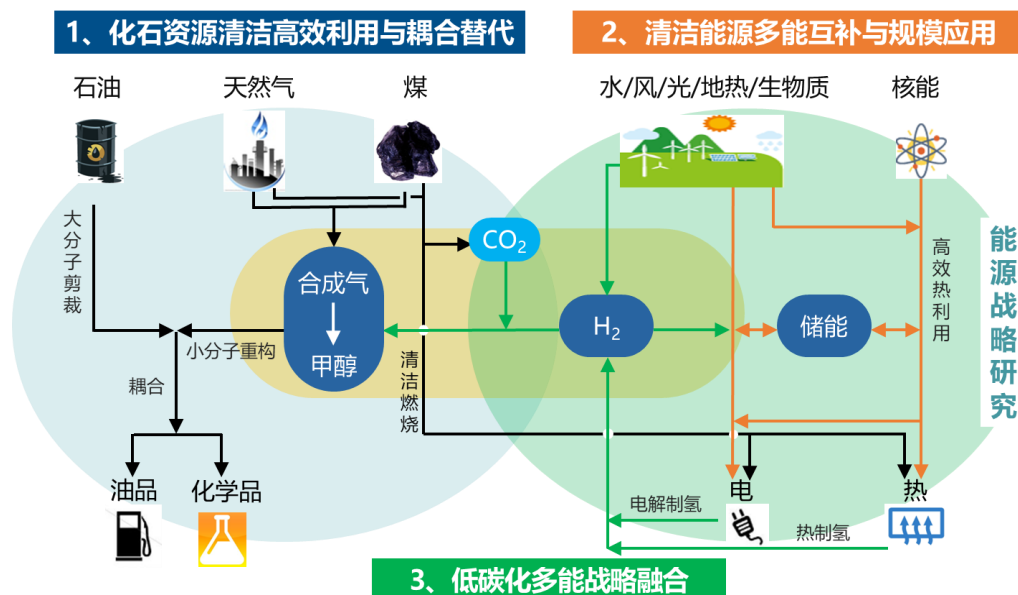




# 洁净能源科技动态监测快报

2021 年第 08 期（总第 22 期）



## 本期看点

- 英国皇家学会发布碳中和 12 个重大科学技术问题
- 欧盟公布落实 2030 碳减排目标的一揽子提案
- 日本更新《2050 碳中和绿色增长战略》
- 美国正式采取行动重塑电池关键供应链体系
- 欧盟“地平线欧洲”框架计划公布 2021-2022 年能源资助主题
- IRENA：可再生能源电力成本持续下降 竞争力日益增强

# 目 录

2021 年第 08 期 (总第 22 期)

## ◆ 化石资源清洁高效利用

- 英国皇家学会发布碳中和 12 个重大科学技术问题..... 2
- 欧盟公布落实 2030 年碳减排目标的一揽子提案..... 6
- 日本更新《2050 碳中和绿色增长战略》..... 8
- 英国启动首个 ALLAM-FETVEDT 循环燃气发电项目 ..... 10
- NETL 与莱斯大学合作开发含碳矿石制石墨烯技术.....11

## ◆ 清洁能源多能互补

- 美国正式采取行动重塑电池关键供应链体系 ..... 13
- 欧盟“地平线欧洲”框架计划公布 2021-2022 年能源资助主题..... 15
- DOE 资助近 5000 万美元支持先进生物燃料技术研发..... 21
- 日本 NEDO 部署新项目开发氟化物电池和水系锌离子电池..... 21
- 调谐超结构实现对层状过渡金属氧化物电极材料性能调控..... 22

## ◆ 低碳化多能融合

- DOE 投入 5250 万美元支持氢能攻关计划..... 24
- 日本推进研发创新打造全球首个 CO<sub>2</sub> 综合运输系统 ..... 25
- Co-N-C 单原子催化剂增强 PEM 燃料电池性能和稳定性 ..... 26
- 德国乌尔姆大学开发极端寒冷条件下太阳能热耦合制氢系统..... 27

## ◆ 能源战略研究

- IRENA: 可再生能源电力成本持续下降 竞争力日益增强 ..... 30

## 本期概要

英国皇家学会发布系列简报，提出了**加快实现温室气体净零排放、提高应对气候变化能力的 12 个重大科学技术问题**，包括：下一代气候模型；碳循环；数字技术；未来电池储能解决方案；低碳供热和制冷；通过氢和氨应对净零挑战；碳捕集与封存（CCS）；气候弹性和适应性；气候变化与土地；弹性粮食生产；气候变化与健康；政策选择和经济前景。

欧盟委员会公布了**欧盟 2030 减排目标一揽子提案**：从收紧现有欧盟排放交易体系并应用于新的行业、增加可再生能源占比并提高能效、加快推广低排放交通方式并推进基础设施建设和研发新的低碳燃料、制定与“欧洲绿色协议”目标一致的税收政策、制定防止碳泄漏相关措施、保护和增加天然碳汇等多方面出台相互关联且互补的政策，旨在到 2030 年温室气体净排放量较 1990 年至少削减 55%，助力欧洲到 2050 年成为世界上第一个碳中和的大陆。

日本经济产业省宣布将其在 2020 年 12 月 25 日发布的《绿色增长战略》更新为《2050 碳中和绿色增长战略》：新版战略指出，需大力加快能源和工业部门的结构转型，通过调整预算、税收优惠、建立金融体系、进行监管改革、制定标准以及参与国际合作等措施，推动企业进行大胆投资和创新研发，实现产业结构和经济社会转型。新版战略主要将旧版中的海上风电产业扩展为海上风电、太阳能、地热产业；将氨燃料产业和氢能产业合并；并新增了新一代热能产业。

美国白宫发布《建立弹性供应链，振兴美国制造业，促进广泛基础设施建设》报告，正式采取行动重塑包括大容量电池在内的 4 大关键领域供应链体系的行动，并向国会提出建议（电池领域如下）：（1）刺激美国国产大容量电池的终端应用需求；（2）加强先进电池关键矿产原料的稳定供应；（3）推动国内电池材料、单体和电池组等可持续生产；（4）加强对人才和技术创新进行投资。

欧盟委员会宣布“地平线欧洲”（Horizon Europe）研发框架计划第一阶段（2021-2022 年）资助方案正式通过，明确了未来两年的研发目标和具体主题：其中能源相关研发主要由第 2 支柱“全球挑战与欧洲产业竞争力”的第 5 部分“气候、能源和交通”，以及“欧洲原子能共同体（EURATOM）研究和培训计划”资助，涵盖能源供应、能源利用、清洁能源、智能交通服务、核能以及交叉领域。

国际可再生能源机构（IRENA）发布《2020 年可再生能源发电成本报告》，指出得益于技术进步、规模经济、竞争性供应链和开发人员经验不断改善，可再生能源电力成本持续下降：过去二十年，全球可再生能源装机容量增长了 3.7 倍，从 2000 年的 754 吉瓦增长到 2020 年的 2799 吉瓦。大多数新投产的可再生能源电力成本已经比最便宜的化石燃料发电成本要低。越来越低的可再生能源发电成本，使得采用可再生能源大规模代替煤炭发电成为可能。2020 年太阳能和风能发电成本持续下降，其中太阳能热发电降幅最大。可再生能源发电成本的不断降低将限制燃煤发电发展。低成本的太阳能和风能制氢为电力部门提供了一条经济的脱碳途径。未来还应加快部署太阳能供热技术以助力实现全球温升控制在 1.5°C 之内的目标。

# 化石资源清洁高效利用

## 英国皇家学会发布碳中和 12 个重大科学技术问题

近期，英国皇家学会发布一系列简报，提出了加快实现温室气体净零排放、提高应对气候变化能力的 12 个科学技术问题<sup>1</sup>。该项工作组织协调了 20 多个国家的 120 多位不同学科专家参与，针对 12 个技术领域概述了到 2050 年实现净零排放的研发部署优先事项，为政府决策提供参考。详情如下：

### 1、下一代气候模型

建立地球气候模拟系统是过去半个世纪的伟大科学成就之一。最近的研究表明，新一代高分辨率模型可以显著提高气候缓解和适应相关信息的质量，涵盖从全球和区域气候影响到极端天气和严重的气候变化风险。应通过开展国际合作，建立一个基于百亿亿次计算和数据设施的国际下一代气候建模中心，实现分辨率和计算能力的跨越式发展，充分了解公里范围内的气候变化对全球的影响，以支持净零技术路线图和气候适应方面的投资。通过与该设施建立合作伙伴关系和开展协作，世界各地的国家气候建模和服务将达到新的水平。为确保最新预测结果的采纳和使用，该设施还可以包含专用的运营数据服务，采用数据分析和信息科学领域的最新数字技术，例如人工智能、机器学习和先进可视化等。可通过“孵化器”推动可持续发展，激发下一代建模的新想法，通过“开放数据实验室”在基于数据云和应用程序编程接口的前沿数字解决方案方面推动公私合作，培训气候模型信息的开发人员和用户。

### 2、碳循环

当前，人类已经对地球碳循环有较多了解，例如陆地和海洋作为碳汇吸收了超过半数的人类活动碳排放，但无法保证如此大量的吸收会持续下去。因此，需进一步深入了解，碳汇是否能在历史水平上继续封存二氧化碳（CO<sub>2</sub>）。碳汇的未来将取决于大气中的 CO<sub>2</sub> 水平及其上升或下降的速度、气候变化的影响以及可能的直接人类干预。保护碳汇，尤其是森林，对于维持其功能至关重要。预计在高碳排放的未来，气候变化将产生最大和最不确定的影响。通过人为干预增强自然碳汇对于实现净零排放至关重要，包括可持续造林、重新造林、农业土壤管理和泥炭地恢复。提高对碳循环理解的研究应包括：通过现场和卫星数据对大气、陆地和海洋进行连续观测监测；更好地了解碳汇的潜在不稳定性，以及开发更全面表征碳循环复杂性的模型。

<sup>1</sup> Climate change: science and solutions. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/climate-change-science-solutions/>

### 3、数字技术

基于大量数据，计算科学有可能创建“数字孪生”，模拟和优化多个经济部门，到 2030 年显著减少碳排放。数字技术可以通过在全球经济中实现减排并限制计算本身造成的排放，在低碳转型中发挥重要作用。特别是，有机会将政府、学术界、工业界等联合起来，创建一个“数字孪生地球”或“地球运行控制回路”，并将真实世界运行数据反馈回模型中迭代更新，通过模拟、优化和改变经济活动，以最大限度地减少排放和提高效率。“净零计算”可以在全球、区域和国家净零战略中发挥重要作用。数字技术部门的用电量和碳足迹，包括隐含排放量，应与其收益成正比。在数据标准、质量和监管方面加强全球协调将能够实现可靠地收集、共享和使用相关数据，从而更好地量化温室气体排放，并支持减少排放的应用。同时，可以在城市、区域、国家乃至全球层面创建自然和经济系统的“数字孪生”，以最大限度地减少排放，提供决策信息并促进可持续发展，还可有助于政府探索“假设”情景和干预措施的影响。全球协作对于为净零系统的计算和数据基础设施建立可信赖的治理框架至关重要。科技行业应以身作则，科技公司应公开报告其能源使用情况以及直接和间接排放量，并优化可再生能源的使用。需改进全球研究和创新生态系统以支持相关技术进步，并利用由政府推动的免费或低成本“数字共享”平台。

### 4、未来电池储能解决方案

未来净零世界中，低碳交通和稳定的电力供应需要更强大、更持久、更快充电的电池。可持续的未来电池还需要使用储量丰富的材料和零碳制造工艺。电池是存储可再生电力的最有效方式，但目前技术进展尚不适用于大规模储能。锂离子电池是短期内最可行的电池储能技术，相关研究重点是提高能量密度、降低成本、延长寿命、提高充电安全性和速度，以及电池的回收和再利用。长远来看，研究人员正在探索使用其他材料和技术的下一代电池，以实现更广泛、经济的电气化。国际合作与协调应侧重于识别和试验新的资源丰富的材料，以降低成本、扩大电池使用并最大限度地减少电池生产对环境的影响。如果足够重视，未来将开发出成本更低、能量密度更高的全新电池。

### 5、低碳供热和制冷

供热和制冷占能源相关碳排放量的 40%，住宅、商业和工业环境中的低碳供热和制冷技术处于不同发展阶段，部署进展缓慢。需通过提高能效、应用清洁技术替代化石燃料供热和制冷，以及在热能储存和运输方面进行创新来减少排放。不同国家需要一系列方法来减少供热和制冷碳排放，但还有更大的国际合作和网络互联的空间。通过改进隔热、热反射和其他方式，以降低建筑物供热和制冷能耗，是任何脱碳计划的首要目标。与化石能源相关技术相比，许多低碳供热和制冷技术还处于起步阶段，需要大量的示范和部署来测试其成本效益。低碳供热和制冷的研究、开

发和部署关键领域包括：热泵、电加热器、区域系统、可再生能源供热和氢气。

## 6、通过氢和氨应对净零挑战

氢和氨在净零经济中具有重要的潜在作用，这两种燃料都是多功能的，能够以多种方式生产和使用，且能够由可再生能源生产并应用于难以脱碳的领域，如重型运输、工业和供热，并可作为能源存储和运输的介质。目前，氢和氨已经广泛用于工业和农业，但其生产具有较高的温室气体足迹。通过对现有技术和新技术的脱碳，可以显著减少温室气体排放。两种燃料都面临着技术挑战，包括生产、储存和使用方面，特别是实现净零生命周期排放的成本问题。需要进一步的研究、开发、示范和部署，以确定氢和氨在实践中可以产生重大影响的领域。在重工业和重型车辆、铁路和航运以及储能等行业，应优先示范氢和氨，其具有较大潜力成为经济高效的低碳替代品。通过工业合作伙伴集群进行大规模示范最具成本效益，此类方式通常适用于港口地区，尤其是与海上风电的集成。国际合作，包括基础设施合作，有助于在当前试点项目的基础上扩大部署，而且应与研究相结合以推动进一步的创新。

## 7、碳捕集与封存（CCS）

CCS 对于在使用化石燃料或以任何方式释放碳的经济体中实现净零排放至关重要。研究表明，大多数可能的净零排放路线都需要 CCS 来实现。CCS 是电力和工业部门脱碳的成熟技术选择。对于重工业等难以脱碳的领域，CCS 可能是降低碳排放的最后一道防线。CCS 已经过全球工业规模验证，是一种可靠、安全且可审核的碳封存方法，至少可封存 10 000 年。但目前 CCS 建设速度太慢，无法满足所需规模。全球碳捕集能力约为 4000 万吨 CO<sub>2</sub>/年，其中只有 25% 被地质封存以缓解气候变化，需要加快部署来加速降低成本和扩大技术规模。随着 CCS 部署经验的积累，建立具备多个碳捕集站点的集群，通过共享管道或运输将 CO<sub>2</sub> 输送到共享封存地，是一种共享和降低单位成本的方法。目前正在建设和规划此类 CCS 项目。对新型捕集技术的研究有望在未来降低成本，但可能需要几十年才能商业化。CO<sub>2</sub> 去除技术，包括负排放技术，如带有碳封存的直接空气碳捕集（DACCS），有助于在本世纪中叶实现广泛认可的净零排放目标。个别国家或团体可以通过补贴或实施碳税以鼓励 CCS 技术发展。另外，为了可靠地封存足够的碳，可能需要碳供应商承担封存义务。

## 8、气候弹性和适应性

即使全球温升被限制在 1.5°C 以内，人类生计和基础设施也会越来越多地受到气候变化和极端天气的影响，这可能导致数百万人流离失所。气候适应相关成本会随气温升高而增加，因此应投资于气候适应性，通过更好的预测、适应气候变化的基础设施和基于自然的解决方案增强气候适应性。应通过科学研究和专业知

识，在未来 20 年支持建设预计 94 万亿美元的基础设施以抵御气候变化，投资于能够最可靠降低气候风险的领域。基于自然的解决方案（保护、恢复和可持续管理生态系统）

可以保护社区和基础设施免受气候变化影响，增强人类适应进一步变化的能力，并有助于减缓气候变化。下一代气候和天气模型将提供当地气候影响相关的详细信息，有助于改进早期预警系统，并可纳入备灾和长期适应工作。对现场观测平台的投资有助于改善预报初始条件，并为预报和模型预测提供“地面实况”。下一代模型和跨学科研究也可以在估计跨尺度适应成本（目前尚未准确量化）以及评估替代适应策略的功效方面发挥重要作用。根据联合国的分析，气候融资总额的 50% 应该用于增强气候弹性和适应全球变暖的影响。

## 9、气候变化与土地

以可持续的方式保护、恢复和管理土地有助于实现净零排放目标以及适应气候变化的影响。到 2050 年，将全球温升控制在 1.5-2°C 所需的净减排量，陆地可以占到 20%-30%，但只有与化石燃料的快速和深度减排相结合才能有效。陆地减排的优先事项是保护现有的富含碳的生态系统、恢复退化的生态系统以及改善农业和林业管理。有效的陆地气候缓解和适应方案将涉及当地社区，并有助于实现多个联合国可持续发展目标。研究表明，健康、富含植物的饮食和减少食物浪费将减轻产粮土地的压力，为解决气候变化和增强生物多样性提供空间。更清晰的监测和标准表明，基于陆地的减排方案正在实现真正的温室气体减排，应鼓励政府、企业和其他方提供资金。进一步的研究将确定基于陆地的减排方案良好做法和绩效指标，包括考虑对当地人民和社区的益处。

## 10、弹性粮食生产

全球粮食系统约占人类活动温室气体排放量的 1/3。因此，需在实现粮食安全、增强抵御气候变化影响的同时减少排放，在饮食改变、可持续农业实践和食品生物技术创新方面开展活动。决策者、农业社区和科学家有机会共同努力消除饥饿，并在净零排放背景下实现粮食安全和营养，包括减少粮食系统排放、提高其复原力和保护生物多样性。研究表明，气候影响与粮食生产和消费之间存在关联，粮食、农业和水产养殖应遵循战略系统方法，这将有助于实现联合国可持续发展目标。鉴于粮食系统对环境的多方面影响，决策者必须解决饮食问题及其对气候的影响，同时考虑经济和社会因素。需要研究和开发支持可持续、创新、气候智能型的全球粮食生产系统，关键领域包括农林业的最佳实践，减少肠道发酵的措施，以及开发可持续提高产量的新作物品种。在气候变化时期，生物技术在提高质量和产量，以及对病虫害、高温和干旱方面取得了特别快速的进展。要实现具有低温室气体排放的弹性粮食系统，需要充分运用科学技术，从基础研究和开发到技术和农业实践的示范和部署，并与农业部门密切合作。

## 11、气候变化与健康

气候变化直接和间接影响人类健康，影响程度将随着时间的推移而增加，严重

程度将取决于为缓解和适应气候变化而采取的行动。气候变化的驱动因素，例如化石燃料燃烧，也会对人类健康产生负面影响。因此，为缓解和适应气候变化而采取的行动将通过多种途径在近期和长期内有益于人类健康。促进更广泛地采用更可持续和可负担的食物并减少浪费，可以改善人类健康并保护自然环境。清洁能源替代化石燃料、零排放汽车等措施可减少空气污染以保护人类健康。缓解和适应气候变化的“基于自然的解决方案”也可以对身心健康产生多种益处。面对气候变化，还需要有效的适应和复原策略来尽可能保护健康，包括能够更好地应对极端事件和疾病爆发的监测、预警系统以及卫生系统。

## 12、政策选择和经济前景

政策和经济工具在净零技术部署方面发挥着重要作用。国际社会正处于一个独特的时刻，从新冠疫情中复苏为应对气候变化和实现净零排放提供了机会。应对气候变化挑战需要世界经济迅速和协调一致的转型，随着越来越多国家做出净零承诺，需采取措施将承诺转化为具体行动计划。在个别国家，可以通过确定“敏感干预点”来实现减排。通过部署诸如边境碳调节等机制，在已采取积极脱碳政策的国家和尚未采取措施的国家之间创造公平竞争环境，可以实现更大程度的行动协调。跨学科研究有助于为应对气候变化和其他相关挑战所需的社会和环境转型提供信息。

(岳芳)

## 欧盟公布落实 2030 年碳减排目标的一揽子提案

7月14日，欧盟委员会公布了欧盟2030年减排目标一揽子提案<sup>2</sup>，从收紧现有欧盟排放交易体系并应用于新的行业、增加可再生能源占比并提高能效、加快推广低排放交通方式并推进基础设施建设和研发新的低碳燃料、制定与“欧洲绿色协议”目标一致的税收政策、制定防止碳泄漏相关措施、保护和增加天然碳汇等多方面出台相互关联且互补的政策，旨在到2030年温室气体净排放量较1990年至少削减55%。未来十年，实现这一减排目标对于欧洲到2050年成为世界上第一个碳中和的大陆至关重要。具体内容如下：

**1、在欧盟排放交易体系（ETS）中对碳排放进行定价，并每年降低某些能源应用终端部门的碳排放上限。**过去16年中，欧盟发电和能源密集型工业的碳排放总量已减少了42.8%。欧盟委员会提议进一步降低总体碳排放上限，并提高其年度减排速率。此外，欧盟委员会提议，逐步取消航空部门碳排放免费额度，与国际航空碳抵消和减排计划（CORSIA）保持一致，并首次将航运排放纳入欧盟ETS中。为解决道路运输和建筑部门减排困难的问题，为其燃料分配单独建立一个新的排放交易

<sup>2</sup> European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541)



系统。此外，委员会提议增加“创新基金”（Innovation Fund）和“现代化基金”（Modernisation Fund）的规模。

**2、欧盟各成员国应将其碳排放交易的全部收益用于气候和能源相关项目，以作为欧盟预算中气候相关支出的补充。**其中，新的道路运输和建筑排放交易系统收入的一部分应专门用于改善贫困家庭、小微企业和交通运输用户可能面临的困难和产生的社会影响。

**3、在《共尽职责条例》<sup>3</sup>中对每个欧盟成员国在建筑、道路和国内航运、农业、废弃物、小型工业等方面分配了更严格的减排目标。**鉴于每个成员国的起点和能力不同，这些目标的设定将以各国人均国内生产总值为基础，并结合成本效率进行调整。

**4、各成员国还需共同承担从大气中除碳的责任。**《土地使用、林业和农业条例》<sup>4</sup>为欧盟自然碳汇设定了一个总体目标，相当于到 2030 年减排 3.1 亿吨二氧化碳。欧盟要求各成员国扩大本国碳汇以实现这一总体目标。到 2035 年，欧盟应力争在土地使用、林业和农业部门实现碳中和，包括农业部门的非二氧化碳排放，如来自化肥使用和畜牧业排放。欧盟将颁布《欧盟林业战略》提高森林质量、数量和恢复力。该战略将支持护林人员和以森林为基础的生物经济，同时保持采伐和生物质利用的可持续性，保护生物多样性，并制定到 2030 年在欧洲种植 30 亿棵树的计划。

**5、能源生产和消费占欧盟碳排放的 75%，需加快向绿色能源系统转型。**《可再生能源指令》<sup>5</sup>将设定一个更高的目标，即到 2030 年可再生能源占欧盟能源供应的 40%。所有成员国均需为实现这一目标努力，并提出交通运输、供热和制冷、建筑和工业方面的可再生能源占比目标。为实现气候和环境目标，需加强生物能源使用的可持续性标准，成员国必须以符合林木生物质阶梯式利用原则的方式，制定生物能源支持计划。

**6、《能效指令》<sup>6</sup>将在欧盟层面上设定一个更有约束力的年度指标，以减少能源总消费量、降低碳排放和解决能源贫困问题。**该指令将指导如何确定国家贡献，并使成员国的年度节能义务翻倍。其中，公共部门将要求每年翻新 3% 的现有建筑，以推动建筑翻新浪潮，创造就业机会，降低能源消耗和纳税人的用能成本。

**7、需采取有力措施解决交通运输部门日益突出的碳排放问题，以补充碳排放交易体系。**对轿车和货车实施更严格的碳排放标准将加快向零排放汽车转型，该标准要求新车的平均碳排放量到 2030 年和 2035 年相比 2021 年分别降低 55% 和 100%。

<sup>3</sup> Effort Sharing Regulation. [https://ec.europa.eu/info/files/effort-sharing-regulation\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/effort-sharing-regulation_en)

<sup>4</sup> Revision of the Regulation on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry. [https://ec.europa.eu/info/files/revision-regulation-inclusion-greenhouse-gas-emissions-and-removals-land-use-land-use-change-and-forestry\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/revision-regulation-inclusion-greenhouse-gas-emissions-and-removals-land-use-land-use-change-and-forestry_en)

<sup>5</sup> Amendment to the Renewable Energy Directive to implement the ambition of the new 2030 climate target.

[https://ec.europa.eu/info/files/amendment-renewable-energy-directive-implement-ambition-new-2030-climate-target\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/amendment-renewable-energy-directive-implement-ambition-new-2030-climate-target_en)

<sup>6</sup> Proposal for a Directive on energy efficiency (recast). [https://ec.europa.eu/info/files/proposal-directive-energy-efficiency-recast\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/proposal-directive-energy-efficiency-recast_en)

因此，到 2035 年所有注册的新车都将实现零排放。为确保能够在覆盖整个欧洲的可靠基础设施网络为车辆充电或加注燃料，修订后的《替代燃料基础设施条例》<sup>7</sup>将要求各成员国根据本国零排放汽车的销售情况扩大充电桩数量，并要求在主要公路上设定固定式充电桩和加氢站，以实现每 60 公里有充电桩，每 150 公里有加氢站。

**8、航运和海运燃料会造成严重污染，需采取专门行动以补充排放交易体系。**《替代燃料基础设施条例》要求飞机和船舶在主要机场和港口能获得清洁电力供应。

“ReFuelEU 航空倡议”<sup>8</sup>将要求燃料供应商不断提高可持续燃料在现有航空燃料中的占比，包括合成低碳燃料。同样，“FuelEU 海运计划”<sup>9</sup>将通过欧洲港口停靠船舶的能源消费相关温室气体排放设定最大限值，以刺激可持续航运燃料和零排放技术的采用。

**9、能源产品税收制度需通过制定合适的激励机制来保障和完善单一市场并支持绿色转型。**修订后的《能源税收指令》<sup>10</sup>建议将能源产品的税收与欧盟的能源和气候政策保持一致，推进清洁能源技术创新，取消目前鼓励化石能源消费的税收抵免政策。新规则旨在减少对能源可持续发展有害的影响，帮助成员国从绿色税收中获益。

**10、欧盟新的《碳边境调节机制》<sup>11</sup>将对特定产品的进口设定碳价，以确保欧洲的气候行动不会导致“碳泄漏”。**这将确保欧洲的减排措施有助于全球减排行动，而不是导致欧洲以外地区的碳密集型生产。该机制还旨在鼓励除欧盟及其国际合作伙伴以外地区的行业采用相同措施，朝着实现全球减排目标共同努力。

(汤匀)

## 日本更新《2050 碳中和绿色增长战略》

6 月 18 日，日本经济产业省 (METI) 宣布将其在 2020 年 12 月 25 日发布的《绿色增长战略》<sup>12</sup>更新为《2050 碳中和绿色增长战略》<sup>13</sup>。新版战略指出，需大力加快能源和工业部门的结构转型，通过调整预算、税收优惠、建立金融体系、进行监管改革、制定标准以及参与国际合作等措施，推动企业进行大胆投资和创新研发，实现产业结构和经济社会转型。新版战略主要将旧版中的海上风电产业扩展为海上风电、太阳能、地热产业；将氨燃料产业和氢能产业合并；并新增了新一代热能产业。相关具体修订内容如下：

<sup>7</sup> Revision of the Directive on deployment of the alternative fuels infrastructure. [https://ec.europa.eu/info/files/revision-directive-deployment-alternative-fuels-infrastructure\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/revision-directive-deployment-alternative-fuels-infrastructure_en)

<sup>8</sup> ReFuelEU Aviation – sustainable aviation fuels. [https://ec.europa.eu/info/files/refueleu-aviation-sustainable-aviation-fuels\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/refueleu-aviation-sustainable-aviation-fuels_en)

<sup>9</sup> FuelEU Maritime – green European maritime space. [https://ec.europa.eu/info/files/fueleu-maritime-green-european-maritime-space\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/fueleu-maritime-green-european-maritime-space_en)

<sup>10</sup> Revision of the Energy Tax Directive. [https://ec.europa.eu/info/files/revision-energy-tax-directive\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/revision-energy-tax-directive_en)

<sup>11</sup> Carbon border adjustment mechanism. [https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en)

<sup>12</sup> 参见 2021 年第 1 期《洁净能源科技动态监测快报》和《洁净能源重大信息专报》。

<sup>13</sup> 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定しました。

<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

## 1、海上风电、太阳能、地热产业（新一代可再生能源）

### （1）海上风电

**发展目标：**到 2030 年安装 10 吉瓦海上风电机组，到 2040 年达到 30-45 吉瓦，同时在 2030-2035 年间将海上风电成本削减至 8-9 日元/千瓦时。到 2040 年风电设备零部件的国产化率提升到 60%。

**重点任务：**推进风电产业人才培养，完善产业监管制度；强化国际合作，推进新型浮动式海上风电技术研发，参与国际标准的制定工作；打造完善的具备全球竞争力的本土产业链，减少对国外零部件的进口依赖。

### （2）太阳能

**发展目标：**到 2030 年太阳能光伏发电成本降至 14 日元/千瓦时。为扩大固定式太阳能发电的普及，2030 年家用太阳能电池安装成本需控制在 7 万日元/千瓦时（包含建设工程费）。

**重点任务：**研究钙钛矿等具有潜在应用价值的材料，开发下一代太阳能电池技术；基于太阳能的分布式能源利用优化；扩大太阳能电池在住宅、建筑等领域的市场化应用；通过合理利用荒废耕地，大力强化农业太阳能发电的引进政策。

### （3）地热

**发展目标：**到 2030 年实施调查井的钻井试验，并对开发的钻井技术和外立面材料等构件进行验证。到 2040 年验证包括涡轮等地面设备的整个发电系统。到 2050 年在世界上率先开展下一代地热发电技术示范。

**重点任务：**开展超高温、高压环境下的钻孔套管材料和涡轮等材料抗腐蚀技术研究；提供风险担保资金，以促进开发地热资源调查钻井技术；促进地热能多元化利用，结合本地资源进行可持续开发。

## 2、氢能、氨燃料产业

### （1）氢能

**发展目标：**到 2030 年将氢能年度供应量增加到 300 万吨，其中清洁氢（由化石燃料+碳捕集、利用与封存/碳循环或可再生能源等方式生产的氢）供应量力争超过德国 2030 年可再生氢供应目标（约 42 万吨/年）水平，到 2050 年氢能供应量达到 2000 万吨/年。力争在发电和交通运输等领域将氢能成本降低到 30 日元/立方米，到 2050 年降至 20 日元/立方米。

**重点任务：**发展氢燃料电池动力汽车、船舶和飞机；开展氢燃气轮机发电技术示范；推进氢还原炼铁工艺技术开发；研发废弃塑料制氢技术；研发新型高性能低成本燃料电池技术；开展长距离远洋氢气运输示范，参与制定氢气输运技术标准；推进可再生能源制氢技术的规模化应用；开发电解制氢的大型电解槽；开展高温热解制氢技术研发和示范。

## （2）氨燃料

**发展目标：**混合氨燃料应用方面，2021-2024 年期间在火力发电厂中完成 20% 掺混氨燃料的示范验证；到 2050 年在火力发电厂实现使用含有 50% 氨的混合燃料。氨燃料生产方面，到 2030 年推进配套设备的制造，构建稳定的氨燃料供应链体系；到 2050 年提高在发电领域的氨混烧率和开发燃烧纯氨技术，并应用于船舶和工业领域。到 2030 年实现氨燃料年产量 300 万吨，到 2050 年达到 3000 万吨。

**重点任务：**开展掺混氨燃料/纯氨燃料的发电技术实证研究；围绕掺混氨燃料发电技术，开发东南亚市场，到 2030 年计划吸引 5000 亿日元投资；建造氨燃料大型存储罐和输运港口；与氨生产国建立良好合作关系，构建稳定的供应链，增强氨的供给能力和安全，到 2050 年实现 1 亿吨的年度供应能力。

## 3、新一代热能产业

**发展目标：**到 2030 年向所有供热基础设施中掺混 1% 的合成甲烷，结合其他方式实现 5% 的气体燃料脱碳；2050 年将掺混 90% 合成甲烷的气体燃料通入供热设施，结合其他方式实现供热气体燃料的完全脱碳。此外，到 2030 年用于船舶动力的天然气燃料逐步用合成甲烷替代；到 2050 年实现年度合成甲烷 2500 万吨，且合成甲烷价格与当前的液化天然气价格（40-50 日元/立方米）相当。

**重点任务：**推进掺混甲烷等气体实现气体燃料脱碳化的海外供应链建设；在过渡时期推进向天然气燃料转化，在 2021 年制定包括天然气在内的各个领域路线图；致力于构建区域直接氢能供应网络；利用数字技术实现区域能源综合控制；提供设备维护等综合服务和脱碳解决方案；推进氢能直接利用，以及碳捕集与利用等技术的应用；加强大型天然气运营商、业界团体和行政部门之间的相互合作，推进热能供应的脱碳发展。

（汤匀）

## 英国启动首个 Allam-Fetvedt 循环燃气发电项目

7 月 13 日，Zero Degrees Whitetail Development 公司（ZDW）和新加坡胜科工业的子公司胜科能源英国公司（SEUK）表示，将合作开发 Whitetail Clean Energy NET Power 项目<sup>14</sup>，在英格兰东北部提赛德工业区的 Wilton International 新建 300 兆瓦 Allam-Fetvedt 循环发电设施，预计最快将在 2025 年建成。

ZDW 是美国 8 Rivers Capital 公司的子公司。自 2012 年以来，8 Rivers Capital 旗下的合资公司 NET Power<sup>15</sup>持续开发基于 Allam-Fetvedt 循环的变革性发电厂。Allam-

<sup>14</sup> UK's First Gas-Fired Allam Cycle Power Plant Taking Shape. <https://www.powermag.com/uks-first-gas-fired-allam-cycle-power-plant-taking-shape/>

<sup>15</sup> 由 8 Rivers Capital 公司与爱克斯龙（Exelon）、麦克德莫特（Mcdermott）和 Oxy Low Carbon Ventures 公司合资建立。

Fetvedt 循环是一种布雷顿循环技术，曾入选《麻省理工科技评论》2018 年“全球十大突破性技术”。该技术采用富氧燃烧，并将超临界 CO<sub>2</sub> 作为工作流体，能够回收废热并消除传统污染物和 CO<sub>2</sub> 排放。作为副产品，将产生可用于封存的管道 CO<sub>2</sub>。NET Power 公司表示，这些特性可使其比传统燃气发电厂更具成本竞争力和效率。

Whitetail Clean Energy NET Power 项目位于 SEUK 公司的 Wilton International 园区，该园区是一个具备“即插即用”（plug and play）能源供应能力的多用途制造中心，配备了供水和污水处理网络以及一个天然气配送网络，已拥有 4 台热电联产装置，其中 2 台燃烧天然气，2 台燃烧生物质，总容量达到 200 兆瓦，总蒸发量为 460 吨/小时。该项目得到了英国商业、能源和工业战略部（BEIS）的支持，在今年早些时候完成了前端工程设计，建成后将具备 300 兆瓦的能源供应能力以及 80 万吨的碳捕集能力，利用港口和管道运输将二氧化碳输送至英国北海深处的地质构造中进行永久封存。

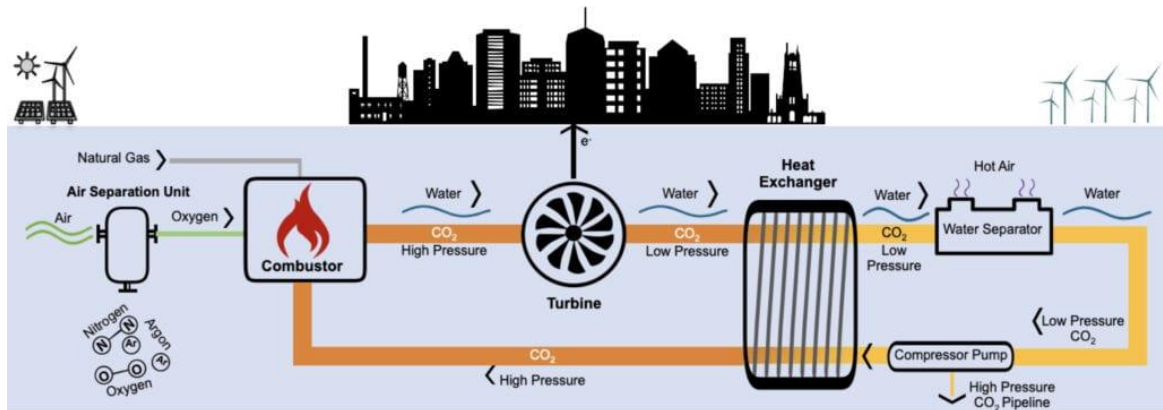


图 1 NET Power 公司 Allam-Fetvedt 循环发电示意图

（岳芳）

## NETL 与莱斯大学合作开发含碳矿石制石墨烯技术

7 月 12 日，美国能源部（DOE）国家能源技术实验室（NETL）发布新闻稿<sup>16</sup>，该实验室正与莱斯大学研究人员合作开发焦耳热闪蒸（FJH）技术，可利用含碳矿石低成本生产高价值石墨烯，探索碳资源在发电之外的潜在变革性应用。FJH 工艺是一种低成本、高效的方法，可在不到 1 秒时间内将几乎所有碳基前驱体大量转化成石墨烯，而其他生产方法或者无法实现高质量石墨烯的大量生产，或者能耗偏高。

通过使用 FJH 工艺，研究团队已经成功实现并超过了关键技术目标，即石墨烯产量达到 1 公斤/天。尽管由于新冠疫情造成了延误，该团队仍提前五个月实现了这一目标。通过自动化技术，研究团队不到两个小时就生产了 1 公斤石墨烯，远远超出了原定目标。下一步，研究团队将对充电系统进行电气改进，计划在项目结束时

<sup>16</sup> NETL Partners with Rice University to Develop Flash Graphene. <https://netl.doe.gov/node/10873>

将生产率提高一倍。未来将优化系统以实现更可控的操作，并将人工智能及机器学习集成到过程控制中，以根据含碳矿石输入源和石墨烯的最终用途进行完全自主控制。一家由莱斯大学研究人员创立的公司 **Universal Matter** 正在 DOE 的支持下进一步扩大 **FJH** 工艺规模，计划到 2022 年第 2 季度实现石墨烯产量 1 吨/天的目标。

（岳芳）

# 清洁能源多能互补

## 美国正式采取行动重塑电池关键供应链体系

6月8日，美国白宫通过四个联邦部门（商业部、能源部、国防部、卫生与公共服务部）组织多领域专家经过100天对美国供应链风险的全面审查后，正式发布了《建立弹性供应链、振兴美国制造业及促进广泛增长》<sup>17</sup>报告，主要评估了对美国经济至关重要的4个领域，即半导体制造与先进封装、大容量电池、关键矿物与原材料以及医药。报告认定这4个领域关键供应链都存在漏洞和风险。为此，报告强调美国必须通过重建生产和创新能力、提升产业链可持续性、加大政府采购和支持力度、强化国际贸易规则、加强盟友伙伴合作、监控供应链中断情况等方式，修补关键供应链漏洞，夯实长期产业基础。同日，白宫发表声明，正式组建“美国供应链中断工作组”，作为政府提升经济竞争力和供应链弹性的第一步。

其中，针对大容量电池，美国能源部（DOE）的目标是实施一项为期10年的发展计划，旨在打造能够支撑电动汽车发展需求的本土化电池供应链，此外，DOE的先进汽车制造技术（ATVM）贷款计划将提供170亿美元资金，支持在美国开展新的研究和制造工作。具体内容如下：

### 一、当前美国电池制造严重依赖从国外进口先进电池组件

先进的大容量锂电池在电动汽车、固定式储能、国防应用等21世纪新兴技术中发挥着不可或缺的作用，这些技术对美国清洁能源转型至关重要。而目前，美国严重依赖从国外进口先进的电池组件，这将导致美国电池供应链变得极为脆弱，在今后经济发展中受到限制。而中国和欧盟政府已经制定并实施了雄心勃勃的刺激措施，支持本国发展电池技术，构建完整的电池供应体系。此外，DOE对美国电池供应链评估发现，目前美国在所有主要电池部件和电池制造方面的全球市场份额不到10%。因此，美国必须立即加大投资，扩大国内大容量电池安全、多样化供应链。而大容量电池供应链主要包括五个部分：原材料生产、原材料提炼和加工、电池材料制造和电池组装、电池封装和终端产品制造以及电池的报废和回收。这五个环节需要整个联邦政府、电池产业各利益相关者、研究界和国际盟友密切合作，制定长期战略，投资和扩大本国潜在的工业优势，加强美国能源、汽车和国防部门建设，确保国家经济竞争力，创造国内制造业就业，使美国处于全球领先地位，开发对美国国家安全和清洁能源未来至关重要的产品。

### 二、构建强大的先进电池供应链的近期行动

<sup>17</sup> Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, And Fostering Broad-Based Growth. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>

**(1)在联邦政府的项目资助、合作协议和研发计划中强化对美国制造业的发展。** DOE 通过拜杜法案 (Bayh-Dole) 下的特殊情况判定, 确定所有创新项目要求资助者均使用纳税人的钱在美国大规模开发这些创新产品, 从而创造高薪的国内就业机会。该法案将适用于所有能源部科学和能源计划, 为先进电池所有应用领域 (包括电动汽车、固定式储能和其他用途等) 提供研发资金。这项政策将涉及 DOE 2022 财年预算中超过 80 亿美元的气候和能源创新资金, 其中包括 2 亿多美元用于支持电池技术的研发和示范。

**(2) 部署固定式电池储能项目。** 为支持联邦政府 2035 年实现 100% 清洁电力目标, DOE 的联邦能源管理计划 (FEMP) 正在联邦政府范围内各个储能站点启动储能发展机遇评估, 该评估将确定目前联邦政府部署的储能项目发展机会, FEMP 鼓励储能站点开展项目示范, 并向这些项目部署提供必要的技术支持。FEMP 计划将资助 1300 万美元, 并吸引约 2.6 亿美元的外部投资。

**(3) 为构建电动汽车先进电池供应链提供资助。** DOE 贷款项目办公室 (LPO) 发布指南, 明确先进汽车制造技术贷款计划 (ATVM, 计划总贷款金额约为 170 亿美元) 的各项目预算。其中, ATVM 计划为汽车电池和电池组制造先进技术提供资助, 用于美国本土汽车电池供应链的建立。

**(4) 发布国家锂电池发展蓝图。** 由 DOE 主持的联邦政府先进电池联盟 (FCAB) 发布《国家锂电池蓝图》<sup>18</sup>, 将先进电池供应链报告的研究结果编入未来 10 年政府发展计划, 以加快构建国内锂电池供应链, 为美国创造清洁能源经济和公平的就业机会。

### 三、美国能源部向国会提出对策建议

**(1) 刺激美国国产高容量电池的终端应用需求:** ①支持交通运输部对电池的需求, 主要包括: 推动联邦政府和地方各州政府公共车辆电气化转型; 推动美国校车和公交车电气化转型; 支持消费者购买美国国产电动汽车享受折扣优惠以及对购买国产中型和重型电动车辆实行税收抵免; 推进美国电动汽车充电桩的部署; 对所有车辆实施强有力的能效和尾气排放标准。②支持公共事业部门对电池的需求, 主要包括: 加快联邦政府储能设备采购; 在美国国税局 (IRS) 投资税收抵免 (ITC) 政策中将固定式储能作为一种独立的资产进行统计; 推动输电侧监管改革以支持可再生能源发电和固定式储能技术应用。

**(2) 加强先进电池关键矿产原料的稳定供应:** ①对矿产资源进行有针对性的投资, 主要包括: 支持国内锂元素的可持续开采和精炼; 支持从废弃物和非常规资源中回收镍和钴元素; 与合作伙伴一起对镍精炼技术进行投资; 支持钴元素的可持续生产和精炼技术; 与盟友和合作伙伴一起, 扩大关键矿产原料全球生产, 确保电池

<sup>18</sup> 参见 2021 年第 7 期《洁净能源科技动态监测快报》。



供应链安全稳定。②全面提高劳工和环境标准，主要包括：为锂、镍、钴和其他关键矿产原料的开采制定强有力的环境审查标准；通过联邦投资来激励可持续的矿产开采作业。③加强美国资源回收再利用体系建设，主要包括：建立国家回收再利用规范，提出有针对性的回收激励措施，成立电池回收和再利用工作小组，确保电池回收和处理符合最高环境标准。

**(3) 推动国内电池材料、单体和电池组等可持续生产：**①利用资助和贷款撬动私人资本，主要包括：制定新的联邦资助计划以推动私人资本参与；利用能源部先进技术车辆管理贷款计划，推进电池产品市场化应用。②引入支持性税收抵免政策，主要包括：恢复美国国税局第 48 条规定，实行制造业税收抵免政策；恢复和扩大美国复苏和再投资税法（ARRTA）第 1603 条计划，以支持电池、电池组件和相关材料加工供应链中的小型制造商税收优惠。③利用联邦采购和财政援助政策，主要包括：加强联邦政府对电池相关制造业的拨款计划，以及在研发项目中对制造业进行资助。

**(4) 加强对人才和技术创新进行投资，这对保持全球竞争至关重要：**①为下一代电池和电动汽车产业相关从业人员进行投资，主要包括：为不断增长的电池制造业发展所需的劳动力进行投资；将劳工标准作为生产补贴的条件，赋予工人权力并支持他们自由和公平的就业选择。②增加电池研发资金以扩大应用并增强电池供应链稳定性，主要包括：增加对电池技术领域的研发支持，以降低电池成本，提高电池性能，减少对关键材料的依赖；构建具有高容量电池生产能力的制造业体系。

（汤匀 郭楷模）

## 欧盟“地平线欧洲”框架计划公布 2021-2022 年能源资助主题

6 月 16 日，欧盟委员会宣布其“地平线欧洲”（Horizon Europe）研发框架计划第一阶段（2021-2022 年）资助方案正式通过<sup>19</sup>，明确了未来两年的研发目标和具体主题。其中能源相关研发主要由第 2 支柱“全球挑战与欧洲产业竞争力”的第 5 部分“气候、能源和交通”<sup>20</sup>，以及“欧洲原子能共同体（EURATOM）研究和培训计划”<sup>21</sup>资助，相关主题包括：

### 一、“气候、能源和交通”相关主题

#### 1、气候转型的交叉部门解决方案

<sup>19</sup> Main work programme of Horizon Europe adopted [https://ec.europa.eu/news/main-work-programme-horizon-europe-adopted-2021-06-16\\_en](https://ec.europa.eu/news/main-work-programme-horizon-europe-adopted-2021-06-16_en)

<sup>20</sup> Horizon Europe Work Programme 2021-2022: 8. Climate, Energy and Mobility. [https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-8-climate-energy-and-mobility\\_horizon-2021-2022\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-8-climate-energy-and-mobility_horizon-2021-2022_en.pdf)

<sup>21</sup> Euratom Research and Training Programme Work Programme 2021-2022. [https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/euratom/wp-call/2021-2022/wp\\_euratom-2021-2022\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/euratom/wp-call/2021-2022/wp_euratom-2021-2022_en.pdf)

**(1) 竞争性、可持续的欧洲电池价值链。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 1.6 亿欧元和 1.33 亿欧元，拟资助主题包括：①原材料可持续加工、精炼和回收；②先进高性能第 3b 代（高容量高电压）锂离子电池以支持交通电气化和其他应用；③先进高性能第 4a、4b 代（固态）锂离子电池以支持交通电气化和其他应用；④锂离子电池电极及组件大规模、环保的加工技术；⑤开发固态电池制造技术；⑥可持续、安全、高效的回收工艺；⑦支持建立研究创新生态系统，制定具有前瞻性的战略方向，以确保未来的知识、技术和工艺发展处于领先，加速颠覆性技术的探索和采用。

**(2) 新兴突破性技术和气候解决方案。**该领域 2021 年预算为 3500 万欧元，拟资助主题包括：①建立碳中和欧洲的新兴技术；②甲烷裂解制氢技术；③非 CO<sub>2</sub> 温室气体去除技术；④直接空气碳捕集及转化利用。

**(3) 公民和利益相关者参与。**该领域 2021 年预算为 5550 万欧元，拟资助主题包括：①促进欧洲的公正转型；②增强气候、能源和交通领域的社会科学和人文研究能力；③通过“转型超级实验室”试点项目加速困难环境下的气候转型；④促进国家联络机构之间的合作。

**(4) 社区和城市。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 3700 万欧元和 500 万欧元，拟资助主题包括：①共同资助伙伴关系；②推动城市向可持续未来转型。

## 2、可持续、安全和有竞争力的能源供应

**(1) 全球领先的可再生能源。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 3.35 亿欧元和 3.685 亿欧元，拟资助主题包括：①通过波浪能设备示范运行以增加在真实海况下的经验；②可再生能源和可再生燃料技术的可持续性和技能培训；③促进可再生能源系统市场采纳的措施；④新型高效串联光伏技术，可利用资源丰富的材料进行低成本生产；⑤通过非盟-欧盟伙伴关系相关活动开展水、能源、粮食关系研究；⑥下一代可再生能源技术；⑦可再生能源催化转化为碳中和燃料；⑧风力发电大气体流动的物理学和空气动力学；⑨在自然和社会环境中推广风能的相关研究；⑩连接光热发电（CSP）的新方法；⑪稳定的高性能钙钛矿光伏；⑫经济高效的微型热电联产（CHP）和复合供热系统；⑬负碳可持续生物燃料生产；⑭浮动式光伏和海洋能设备的创新基础、浮动结构和连接系统；⑮开发用于低水头和/或小水库和/或盐水的水电设备；⑯针对深水和不同海盆的浮动式风电部署创新；⑰新型晶硅串联、薄膜串联、双面、聚光光伏等替代和创新光伏技术的试产线示范；⑱使用生物残留物和废物的大规模 CHP 技术示范；⑲更可持续的地热能解决方案；⑳作为能源载体和燃料的生物甲烷创新生产技术；㉑利用现有工厂示范经济高效的生物燃料技术；㉒示范创新材料、供应周期、回收技术，以提高风能技术的整体循环利用并减少关键原材料的一次性使用；㉓一体化光伏的先进制造；㉔示范利用高温地热储层为能源系统提供储能；㉕在离网应用中示范用于系统管理和可再生能源存储的创新即插即用解

决方案；26 新型农业光伏系统；27 潮流能设备的创新转子、叶片和控制系统示范；28 开发用于分析国际可再生能源价值链协同效应的数字解决方案；29 非盟-欧盟能源系统建模；30 创新的可再生能源载体生产，用于利用可再生能源进行供热；31 开发新技术连接太阳能燃料与其他可再生能源；32 利用过剩波动性可再生能源电力和能源消费部门的碳排放，开发可再生能源载体；33 将可再生能源直接整合到化工过程能源需求中；34 将可再生能源纳入农业和林业部门；35 先进生物燃料和非生物可再生燃料生产的完整价值链示范；36 用于 CSP 发电厂和/或聚光太阳热装置安装的新兴组件和/或子系统；37 扩大可持续生物燃料规模的最佳国际实践；38 高效循环人工光合作用；39 集成风电场控制；40 以高效率为目标的新型薄膜光伏技术；41 用于工业的低价值生物残留物和废物燃烧气化系统的高效低排放技术；42 开发非生物来源的藻类和可再生燃料；43 开发现有水电运维数字解决方案；44 光伏组件的报废回收。

**(2) 能源系统、电网及储能。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 1.52 亿欧元和 1.81 亿欧元，拟资助主题包括：① 开发、验证、示范一个能源数据空间，为欧洲共同的能源数据空间建立基础；② 通过多项协调合作为具有并网能力的多供应商多终端高压直流（HVDC）实时示范做好准备；③ 建立一个研究能源转型相关互操作性的实践社区；④ 能源部门整合研究，将能源系统整合并组合成经济且灵活的综合能源系统；⑤ 通过向消费者提供能源消费整合服务，提高能源系统的灵活性；⑥ 通过针对电网漏洞、故障、风险和隐私的措施提高电网的可靠性和弹性；⑦ 通过基于 HVDC 的系统和解决方案设计提高电力系统可靠性和弹性；⑧ 超导系统和 Elpipes 技术<sup>22</sup>的示范；⑨ 先进电力电子在能源领域的应用示范；⑩ 加强本地能源生态系统的数字化相关知识；11 支持消费者在能源市场的行动，引导消费者以产消合一者、社区和其他形式积极参与能源活动；12 具有并网能力的多供应商多终端 HVDC 实时示范（可支持海上系统）；13 开发基于分布式储能灵活性服务的互操作解决方案；14 示范新型储能技术并集成到创新的能源系统和电网架构中；15 跨部门能源生态系统的可复制解决方案；16 能源系统建模、优化和规划工具；17 储热解决方案。

**(3) 碳捕集、利用与封存（CCUS）。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 3200 万欧元和 5800 万欧元，拟资助主题包括：① 将 CCUS 集成至枢纽或集群，并开展知识共享活动；② 通过新技术或改进技术降低碳捕集成本；③ 通过 CCUS 进行工业脱碳。

**(4) 交叉领域问题。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 6480 万欧元和 3500 万欧元，拟资助主题包括：① 清洁能源转型伙伴关系相关活动，支持开发能源转型相关使能技术、颠覆性技术和系统创新技术；② 支持欧洲地质服务相关活动；③ 支

<sup>22</sup> Elpipes 是基于金属导体的聚合物绝缘地下 HVDC 输电管道。

持欧盟“战略能源技术规划”(SET-Plan)技术领域以及欧洲技术与创新平台(ETIP)相关活动。

### 3、高效、可持续和广泛的能源利用

(1) **高能效和碳中和的欧洲现存建筑。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 7400 万欧元和 1.22 亿欧元,拟资助主题包括:①先进的能效评估和认证;②节能建筑深度改造工作流程的产业化;③现存建筑能源性能的先进数据驱动监控;④为有性能保证的建筑示范综合技术解决方案;⑤经济高效可持续的多功能和/或预制整体翻新解决方案,集成可再生能源资源并使用再利用和回收材料;⑥加强欧洲的协调和交流,促进对创新技术的采纳以增强建筑的可持续性、质量、循环性和社会包容性,作为对“新欧洲包豪斯”运动的贡献;⑦节能住宅建筑的需求响应;⑧可再生能源密集型正能量住宅;⑨更智能的建筑以实现更好的能源性能。

(2) **能源转型中的工业设施。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 3000 万欧元和 1800 万欧元,拟资助主题包括:①90-160℃供热升级系统的全规模示范,利用可再生能源、环境热或工业废热为各种工业过程供热;②基于有机朗肯循环的工业废热发电技术;③150-250℃供热升级系统的开发和试点示范,利用可再生能源、环境热或工业废热为各种工业过程供热;④开发工业高温储热技术。

### 4、所有交通方式的清洁、竞争性解决方案

(1) **零排放道路交通。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 9400 万欧元和 1.05 亿欧元,拟资助主题包括:①开发用于区域中型货运的创新零排放电动汽车;②开发电动汽车集成先进电力电子和相关控制设备;③开发系统方法,在大规模部署条件下实现优化的智能电动汽车充电和车辆到电网(V2G)的灵活性;④零排放交通解决方案和相关电池价值链的生命周期评估和可持续循环设计;⑤电动汽车和燃料电池汽车的模块化多动力总成零排放系统,实现高效经济的运行;⑥开发高效低成本电机,实现循环性并减少对稀有资源的使用;⑦开发新一代全电动城市和城郊快速公交系统;⑧促进道路交通研究创新在欧洲和世界的传播和实施;

(2) **航空。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 5400 万欧元和 4500 万欧元,拟资助主题包括:①到 2050 年实现碳中和的航空温室气体减排技术;②从设计、制造、集成和维护等方面促进下一代数字飞机转型;③开发无声和超低空气污染飞机;④开发数字航空技术,用于新航空商业模式和服务,应对新兴全球威胁和行业竞争;⑤支持欧盟政策和计划的欧洲航空政策研究。

(3) **实现碳中和、清洁、智能和有竞争力的水上运输。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 9350 万欧元和 9600 万欧元,拟资助主题包括:①实现氨和氢燃料在船舶的安全高效大规模存储和集成;②通过热电联产和联合循环解决方案将超高功率燃料电池完全集成到船舶设计中,以提高多种燃料的效率;③确定水运可持续燃

料部署方案；④创新的船载节能解决方案；⑤电动船舶高功率快速充电系统；⑥评估和防止现有及新船舶液化天然气发动机的甲烷泄漏；⑦开发数字孪生模型以确保绿色船舶运行；⑧证明大型清洁船用氨燃料发动机的可行性；⑨开发纯电动和混合动力船舶储电系统并更好地优化电池；⑩创新船用储能系统；Ω探索将可再生能源用于航运，尤其关注使用风能的潜力；Ω通过改造实现现有船舶的更环保运行；Ω通过自主水上货运循环服务实现无缝安全物流；Ω开发造船计算工具。

**(4) 交通对环境和人类健康的影响。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 1500 万欧元和 700 万欧元，拟资助主题包括：①针对排气管和刹车开发和示范成本合理且适应性强的改造解决方案；②评估实际驾驶条件下 L 类车辆的噪声和颗粒排放；③发动机排放的挥发性、半挥发性和二次粒子对空气质量的影响。

**(5) 交叉领域行动。**该领域 2021 年预算为 150 万欧元，拟资助主题包括：①支持交通领域研究的传播活动。

## **5、为乘客和货物提供安全、弹性的运输和智能交通服务**

**(1) 互联、合作和自动化交通 (CCAM)。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 7400 万欧元和 8800 万欧元，拟资助主题包括：①更强大、可靠的车载感知和决策技术，可应对复杂的环境条件；②CCAM 系统安全验证的通用方法；③通过物理和数字基础设施、连通性和合作支持实现 CCAM；④网络安全和弹性的 CCAM；⑤ CCAM 解决方案的社会经济和环境的影响分析，以及社会、公民和用户需求评估；⑥更好地协调欧洲大规模示范试点和欧盟范围内的知识库；⑦在欧洲示范人员和货物的集成共享自动化交通解决方案；⑧可靠的乘客保护技术和人机界面解决方案，确保高度自动化车辆的安全；⑨CCAM 解决方案性能评估的人类行为模型；⑩在车队和交通管理系统中集成 CCAM 服务；Ω基于人工智能开发可解释且可靠的 CCAM 概念、技术和模型。

**(2) 乘客和货物的多模式和可持续运输系统。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 5300 万欧元和 9100 万欧元，拟资助主题包括：①更高效、有效的多式联运货运节点，以提高灵活性、服务可见性并降低货运平均成本；②新的交付方式和商业/运营模式，确保最后一英里的绿色运行，优化道路运输；③气候适应和环境可持续的交通基础设施，重点关注内陆水道；④通过运营的连通整合和协调物流网络，以优化货运流并推动物流实现碳中和；⑤城市物流和规划，预测城市货运的产生和需求，包括城市货运的数字化；⑥智能执法，实现弹性、可持续和更高效的运输运营；⑦在未来十年加速部署新的共享交通服务；⑧先进的多式联运网络和交通管理，实现客运和货运的无缝门到门运输；⑨以智能高效方式建造、维护和退役交通基础设施，实现零排放；⑩开发新概念和方法，实现可应对破坏性事件（包括流行病）的弹性和绿色货运和物流网络。

**(3) 各种运输方式及相互间的安全和弹性。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 4000 万欧元和 3400 万欧元，拟资助主题包括：①在未来的交通系统中测试安全的轻型车辆并改进安全的人机交互；②非洲中低收入国家道路安全的根本改善；③大型客轮的流行病传染控制；④航空安全运营控制的自动和人为因素研究；⑤为道路弱势使用者提供预测性安全评估框架和更安全的城市环境；⑥开发更具弹性的飞机，增强生存能力；⑦更安全的航行和应对集装箱船火灾。

## 二、“EURATOM 研究和培训计划”资助方案

“EURATOM 研究和培训计划”主要关注核能研究和创新，第一阶段(2021-2022 年)资助主题如下：

### 1、核能研究和培训

**(1) 核安全。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 3900 万欧元和 1500 万欧元，拟资助主题包括：①核电站和研究堆的安全运行；先进和创新的核能系统设计及核燃料的安全性；③轻水反应堆乏燃料的多次循环利用；④用于核能的先进结构材料；⑤高温反应堆的安全性；⑥未来核裂变和核聚变电厂的许可程序、代码和标准的协调一致；⑦开发聚变和裂变设施的氦管理技术。

**(2) 乏燃料和放射性废物的管理和退役。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 240 万欧元和 60 万欧元，拟资助主题包括：①在废物管理和退役方面协调应用国际监管框架。

**(3) 核科学和电离辐射应用、辐射防护、应急准备。**该领域 2022 年预算为 2400 万欧元，拟资助主题包括：①欧洲辐射防护和电离辐射检测研究的伙伴关系；②医用放射性核素的安全使用和可靠供应；③核技术的跨部门协同和新应用。

**(4) 欧盟内部核领域的专业知识和能力。**该领域 2021 年和 2022 年预算分别为 600 万欧元和 1235 万欧元，拟资助主题包括：①欧洲核研究设施；②提升欧洲核技术能力；核技术相关社会-经济问题；③支持 Euratom 国家联络机构之间的跨国合作；④支持可持续核能技术平台以应对电离辐射的跨部门挑战和非电力应用。

### 2、其他不需要征集提案的行动

除上述主题外，还将在 2021 年和 2022 年分别资助 1.07 亿欧元和 1.08 亿欧元，通过征集提案以外的方式资助活动，如向指定人员和组织提供资助、公共采购、设定奖项、聘请专家等。

(岳芳)

## DOE 资助近 5000 万美元支持先进生物燃料技术研发

6 月 30 日，美国能源部（DOE）宣布资助 4550 万美元支持先进生物质转化技术研究<sup>23</sup>，旨在整合高校、国家实验室的研究力量，实现生物质到燃料、高价值化学品的高效清洁转化，增强美国能源安全，助力实现 2050 年净零排放愿景目标。本次资助研究项目主要涵盖两大主题领域，主要内容如下：

### 1、利用微生物工程将生物质高效转化为燃料和高价值化学品（资助金额：3100 万美元）

利用 DOE 在基因组学和计算生物学上多年的研究成果，探索利用单细胞微生物将生物质（如农作物废料、食物废料等）转化为燃料和高价值的生物基商品，以及将塑料等聚合物转化为新的生物基产品的潜力。

### 2、开发新的成像工具来研究植物和微生物细胞过程（资助金额：1450 万美元）

开发新型成像工具来刻画植物和微生物中的细胞过程，进一步探明其基因组的构成，以更好地了解植物和微生物中生物质转化过程和机制，指导设计出具备高效转化能力的微生物用于生物质和塑料向燃料或化学品的转化。

（王珍 郭楷模）

## 日本 NEDO 部署新项目开发氟化物电池和水系锌离子电池

6 月 3 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将在 2021-2025 年开展“电动汽车创新电池开发”项目<sup>24</sup>，旨在开发超越锂离子电池的新型电池，增强电池和汽车行业的竞争力。

此次开展的项目是 2016-2020 年的“推进新型电池商业化的基础技术开发”项目的延续，计划投入 166 亿日元，开发氟化物电池和水系锌离子电池，可避免使用锂离子电池中的高价材料，同时具备高能量密度和安全性。该项目将开发高性能、低成本电极活性材料和电解质，并开发相应的电极结构，还将研发用于电池设计、原型制造以及电池试生产和特性评估/分析的通用基础技术。此外，通过整合评估结果，将开发模拟预测电池充放电性能的技术。到 2025 年将实现如下指标：

### 1、氟化物电池

2 安培小时级原型电池经示范特性评估实现如下性能：电池成本低于 1 万日元/千瓦时；充放电效率超过 90%；质量能量密度超过 500 瓦时/千克，体积能量密度超过 1000 瓦时/升；循环容量损失低于 10%（100 次循环后）；电池寿命超过 15 年，循环寿命超过 2000 次；充电可支持 1C 或更高电流；快速充电时间在 20 分钟以内；安

<sup>23</sup> DOE Awards \$45.5 Million for Projects to Advance Biotechnology Research  
<https://www.energy.gov/articles/doe-awards-455-million-projects-advance-biotechnology-research>

<sup>24</sup> リチウムイオン電池の性能・生産コストをしのぐ革新型蓄電池の研究開発に着手。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101435.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101435.html)

全性达到在内部短路、过充等情况下不会着火或冒烟；无原材料采购风险。

## 2、水系锌离子电池

5 安培小时级原型电池经示范特性评估实现如下性能：电池成本低于 1 万日元/千瓦时；充放电效率超过 90%；质量能量密度超过 200 瓦时/千克，体积能量密度超过 500 瓦时/升；循环容量损失低于 10%（100 次循环后）；电池寿命超过 15 年，循环寿命超过 2000 次；充电可支持 3C 或更高电流；快速充电时间在 20 分钟以内；安全性达到在内部短路、过充等情况下不会着火或冒烟；无原材料采购风险。

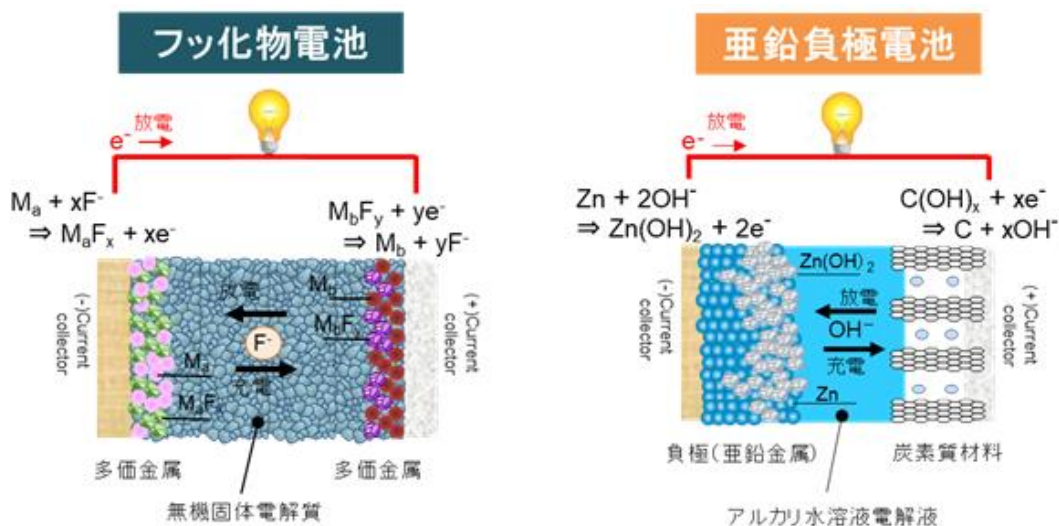


图 1 日本NEDO拟资助开发氟化物电池和水系锌离子电池

（岳芳）

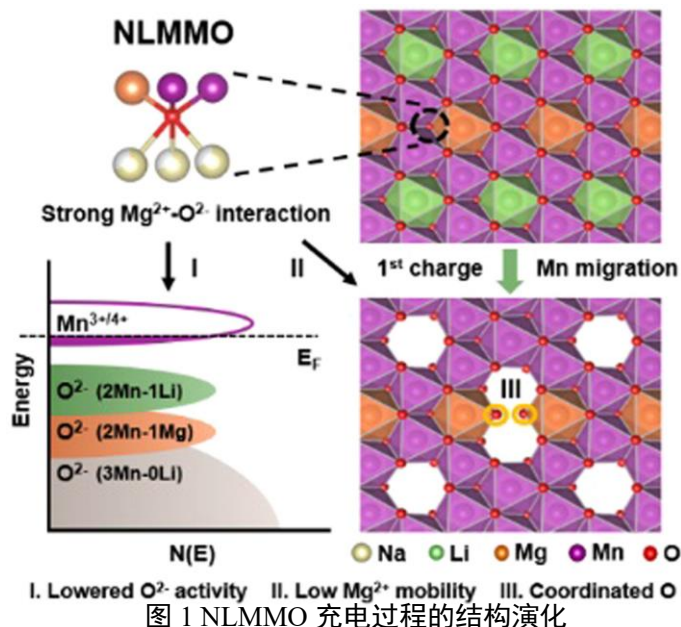
## 调谐超结构实现对层状过渡金属氧化物电极材料性能调控

层状钠离子过渡金属氧化物正极材料具有较高能量密度，成为当下钠离子电池电极研究热门领域。然而，这类具有氧变价活性的钠离子电池正极材料在充放电过程中往往伴随着不可逆氧流失，导致正极材料发生结构退化，电池循环稳定性下降。因此亟需解决上述问题以增强电池循环寿命，推进该电池技术的商业化进程。北京大学 Feng Pan 教授课题组牵头的联合研究团队首次提出了一种调制层状过渡金属氧化物中的超结构基元来抑制电极材料中氧流失，进而提升循环稳定性的通用策略。

P2 型层状氧化物钠锂锰氧化合物  $Na_{0.72}Li_{0.24}Mn_{0.76}O_2$  (NLMO) 是目前被广泛研究的一种电极材料。但相关研究表明，NLMO 电极材料中有丰富的  $Li@Mn_6$  超结构基元，其中的晶格氧处于  $Na-O-Li$  的配位环境中，由于  $Li^+-O^{2-}$  的相互作用很弱，会产生不利影响：一方面是  $O^{2-}$  易于失去电子发生氧化反应；再则，晶格氧对  $Li^+$  的束缚弱使得  $Li^+$  可以在充电态下发生迁移，在过渡金属层中留下空位，进而导致层内过渡金属迁移以及无配位氧的形成，最终引起氧流失。因此，为了改善其结构稳定性，研究人员设想用结构稳定性更佳的  $Mg@Mn_6$  超结构基元来取代  $Li@Mn_6$ 。研究人员



利用溶胶凝胶方法制备了三种不同类型的电极材料，包括只有  $\text{Li@Mn}_6$  超结构基元的电极材料 NLMO，四分之一  $\text{Li@Mn}_6$  超结构基元被取代的电极材料  $\text{Na}_{0.73}\text{Li}_{0.17}\text{Mg}_{0.06}\text{Mn}_{0.77}\text{O}_2$  (NLMMO-1/4) 和二分之一取代电极材料 NLMMO-1/2，并进行了对比研究。X 射线衍射表征显示，三种电极材料均呈现蜂窝状的超结构排列方式， $\text{Mg@Mn}_6$  超结构基元对  $\text{Li@Mn}_6$  超结构基元的替代是固溶体行为，两种超结构基元均匀复合。随后对比测试了基于上述电极的电池，实验结果显示，在相同测试条件下，NLMO、NLMMO-1/4 和 NLMMO-1/2 分别获得了  $203 \text{ mAh g}^{-1}$ ,  $179 \text{ mAh g}^{-1}$  和  $176 \text{ mAh g}^{-1}$  的比容量，库伦效率分别为 91%, 94% 和 104%。



且循环 50 余次后，三种电极电池容量保持率依次为 31%、50% 和 62%。上述实验结果表明，引入  $\text{Mg@Mn}_6$  超结构基元进行部分取代后，电池的库伦效率和循环稳定性得到了增强。为了探究上述性能提升的原因，研究人员对循环后电极进行了 XRD 表征，显示 NLMO 超晶格衍射线在一次充放电后就消失了，而在含有  $\text{Mg@Mn}_6$  超结构电极材料中超晶格峰在 50 次循环后依旧清晰可见，表明在首次充电过程中就发生了剧烈的层内过渡金属迁移（这种迁移会导致空位的聚集以及无配位氧的形成，从而导致集中的氧流失），而 NLMMO-1/2 的层内过渡金属迁移受到了抑制，其过渡金属层内的蜂窝状超结构在循环过程中始终得以保持。

该项研究首次提出了通过调控层状过渡金属氧化物电极中的超结构来抑制电极氧流失，增强了电极结构稳定性，从而提升了电池循环稳定性和寿命，为设计和开发高能量密度、高稳定性的钠电池正极材料提供了新的思路，对发展下一代非锂低成本高能量密度电池起到良好推动作用。相关研究成果发表在《*Nano Energy*》<sup>25</sup>。

(郭楷模)

<sup>25</sup> JiajieLiu, Rui Qi, Changjian Zuo, et al. Inherent inhibition of oxygen loss by regulating superstructural motifs in anionic redox cathodes. *Nano Energy*, 2021, DOI:10.1016/j.nanoen.2021.106252

# 低碳化多能融合

## DOE 投入 5250 万美元支持氢能攻关计划

7月7日，美国能源部（DOE）宣布投入 5250 万美元资助 31 个氢能项目<sup>26</sup>，旨在推进下一代清洁氢能技术，并支持近期宣布的“氢能攻关计划”，降低氢能成本并加速其技术突破。此次资助的项目将包括氢能生产、储存、分配和利用各环节，由 DOE 能效和可再生能源办公室（EERE）提供 3600 万美元，化石能源和碳管理办公室（FECM）提供 1650 万美元。详情如下：

### 一、EERE 资助项目

#### 1、重型卡车燃料电池研发

（1）低成本、耐用的双极板和创新低成本的气管理组件。该主题共投入 815 万美元支持 5 个项目，包括：①开发重型卡车用燃料电池的双极板；②开发重型卡车用燃料电池的低成本、薄柔性石墨双极板；③通过连续工艺制造完全单元化的燃料电池；④通过高温成型和扩散粘结制造低成本耐腐蚀涂层铝双极板；⑤开发和制造用于质子交换膜燃料电池的非贵金属涂层双极板。

（2）创新、低成本气管理组件。该主题共投入 720 万美元支持 4 个项目，包括：①利用内燃机空气系统技术降低燃料电池系统成本；②用于重型卡车的负荷跟随燃料电池的高效和瞬态空气系统；③耐用且高效的基于离心式压缩机的过滤空气管理系统和优化的辅助系统；④箔片轴承支撑的压缩机-膨胀机。

#### 2、高效和创新的氢气生产技术

（1）高温电解槽制造技术研发。该主题共投入 833 万美元支持 2 个项目，包括：①固体氧化物电解槽和电堆组装的自动化；②高温电解电堆的低成本制造。

（2）通过生物质废物生产氢气的创新技术。该主题共投入 200 万美元支持 2 个项目，包括：①利用废水高效制氢的新型微生物电解槽设计；②生物废物制氢的新型微生物电解系统开发。

#### 3、高流量加氢技术

（1）高流量加氢站的国内供应链。该主题共投入 674 万美元支持 3 个项目，包括：①用于中重型燃料电池卡车的先进高流量氢气压缩系统；②用于高流量加氢的经济高效预冷系统；③重型燃料电池卡车的自动加注系统。

4、燃料电池、制氢和储氢的成本及性能分析。该主题共投入 350 万美元支持 3

<sup>26</sup> DOE Announces \$52.5 Million to Accelerate Progress in Clean Hydrogen. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-525-million-accelerate-progress-clean-hydrogen>

个项目，包括：①燃料电池分析；②制氢分析；③储氢分析。

## 二、FECM 资助项目

### 1、固体氧化物电解制氢技术开发

该主题共投入 800 万美元支持 8 个项目，包括：①基于质子导体的耐用高性能固体氧化物电解槽开发；②通过控制氧电极的表面成分提高固体氧化物电解槽的耐久性和性能；③开发稳定的低成本制氢固体氧化物电解槽；④开发高效、耐用和抗氧化的固体氧化物电解槽新型结构和制造工艺；⑤开发高性能金属支撑的固体氧化物电解槽和创新诊断方法；⑥开发高通量和高效制氢的可逆固体氧化物电池的稳定关键材料和微结构；⑦高效持久制氢的固体氧化物电解槽的多孔电极内表面设计；⑧固体氧化物电解槽异质结构耐铬氧电极开发。

### 2、甲烷蒸汽重整制氢装置的先进碳捕集、利用与封存（CCUS）

该主题共投入 246 万美元支持 2 个项目，包括：①基于 Svante 公司固体吸附剂的燃烧后碳捕集技术的工程研究，用于林德公司蒸汽甲烷重整制氢装置；②菲利普斯 66（Phillips 66）公司 Rodeo 炼油厂制氢装置先进碳捕集的初步工程设计研究。

### 3、甲烷自热重整制氢装置的先进碳捕集、利用与封存

该主题共投入 150 万美元支持 1 个项目：用于 Blue Bison 公司自热重整装置（制氢产能达到 220 亿标准立方英尺/天）的先进 CCUS 系统的初始工程设计研究，每年可捕集和封存 166 万吨纯度为 95% 的 CO<sub>2</sub>。

### 4、工业燃气轮机氢燃烧系统

该主题共投入 450 万美元支持 1 个项目：开发用于纯氢和氢气/天然气混合物的可改装干式低排放工业燃气轮机燃烧系统。

（岳芳）

## 日本推进研发创新打造全球首个 CO<sub>2</sub> 综合运输系统

6 月 22 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将在“碳捕集、利用与封存（CCUS）研发/示范”框架下启动三个研发主题<sup>27</sup>，支持大规模低成本 CO<sub>2</sub> 船运技术的研发和示范，旨在建立全球首个 CO<sub>2</sub> 综合运输系统，推进到 2030 年实现 CCUS 系统的广泛应用。项目执行期为 2021-2026 年，总预算为 160 亿日元。

CCUS 作为能够显著减少工厂和火力发电厂碳排放的关键技术受到广泛关注，但碳排放源可能远离封存、利用所在地，安全、低成本的 CO<sub>2</sub> 运输技术成为普及应用 CCUS 技术的关键问题。为此，NEDO 启动“液化 CO<sub>2</sub> 运输船技术研发”、“1 万吨/年级 CO<sub>2</sub> 航运示范”和“用于 CCUS 的 CO<sub>2</sub> 船运商业化调查”三个主题，在最佳压力和温度条件下，进行 CO<sub>2</sub> 液化、运输、接收的综合运输系统相关研发和验证试

<sup>27</sup> 船舶による CO<sub>2</sub> 大量輸送技術確立のための研究開発および実証事業を開始。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101445.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101445.html)

验，目的是实现每年从碳捕集地到封存、利用地长距离大规模运输 100 万吨 CO<sub>2</sub>。该项目将首先进行适合长距离和大规模船运的 CO<sub>2</sub> 液化和存储系统开发，运输船的研究和开发，以及设备设计所需的审查。从 2023 年开始，京都府舞鹤市燃煤电厂排放的 CO<sub>2</sub> 将在运输基地以 10 000 吨/年的规模液化，通过船舶运输至苫小牧市基地，进行全球首个用于 CCUS 的综合运输系统示范运行。

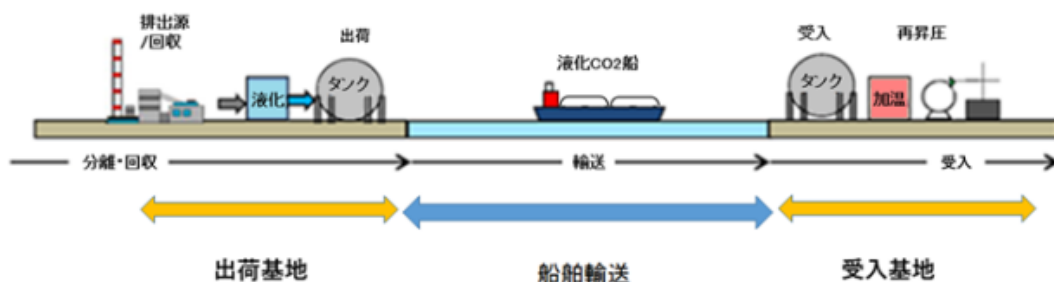


图 1 日本NEDO打造全球首个CO<sub>2</sub>综合运输系统概念图

(岳芳)

## Co-N-C 单原子催化剂增强 PEM 燃料电池性能和稳定性

质子交换膜 (PEM) 燃料电池是一种高效、清洁的能量转换装置，其阴极氧还原反应 (ORR) 依赖于催化剂的高催化活性。然而，目前广泛采用的高性能催化剂大多基于贵金属体系，不利于该电池技术的规模化应用。因此，需要开发低成本高活性 ORR 催化剂。过渡金属、氮共掺杂碳 (M-N-C, M=Fe, Co, Mn 等) 单原子催化剂被视为是铂族金属催化剂良好的替代品，但其 ORR 反应动力学缓慢，在 PEM 具有氧化性和酸性介质中的催化效率不高，耐久性不佳，上述问题是阻碍该催化剂实现实际应用亟需解决的问题。西北太平洋国家实验室 Yuyan Shao 教授课题组牵头的联合研究团队利用沸石咪唑骨架 (ZIF-8)，设计开发了一种新型的钴 (Co)、氮 (N) 共掺杂碳 (C) 单原子催化剂 Co-N-C，具有高比表面积、丰富的微孔结构和高含量 CoN<sub>x</sub> 原子位点，显著增强了催化剂的 ORR 催化活性，同时 Co 离子在 Fenton 反应中表现出较低活性增强了催化剂稳定性。

相关研究表明，Co-N-C 催化剂表现出低 ORR 活性和高双电子还原选择性。同时提高 Co-N-C 催化剂中的 CoN<sub>x</sub> 催化活性中心密度和控制 Co-N 配位构型，可以大幅度提高其 ORR 催化活性。但传统制备方法容易产生 CoN<sub>x</sub> 团簇，导致活性降低。为此，研究人员利用模板法，即采用 ZIF-8 来合成 Co-N-C 单原子催化剂前驱体，随后经过热解形成最终催化剂产物。该制备方法利用 ZIF-8 独特的碳氢化合物网络作为 Co 原子之间的保护屏障，从而降低其流动性以避免 Co 的团聚。高温热解之后，ZIF-8 微孔中的 CoN<sub>x</sub> 部分会直接转化为原子级分散的 CoN<sub>x</sub> 位点。扫描电镜表征显示，Co-N-C 具有菱形十二面体形状及粗糙表面；扫描透射电子显微镜 (STEM) 进

一步观察到其具有随机定向分布的石墨晶格，以及具有密度较小、孔状形貌的高度无序碳。高角度环形暗场 STEM 表征则显示，该催化剂含有均匀分散的 Co 原子。多孔结构增加了催化剂的比表面积，这有助于增加更多的催化活性位点，进而增强催化剂的活性。随后研究人员测试了上述催化剂的 ORR 性能，在 O<sub>2</sub> 饱和的 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 电解液中，半波电位为 0.82V，0.9 V<sub>iR-free</sub> 内阻补偿电压下获得了 0.022 A cm<sup>-2</sup> 的电流密度，1.0 帕气体压力 (H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) 下燃料电池峰值功率密度达到 0.64 W cm<sup>-2</sup>，这是非 Fe 的 M-N-C 体系催化剂性能的最优值。随后对催化剂的稳定性进行测试，在 0.6-1.0 V 电压区间进行 10 000 次循环后，电流密度仅衰减了 11%，而在 Fe-N-C 体系则大幅衰减了 47%，表明了 Co-N-C 催化剂具有良好的稳定性。

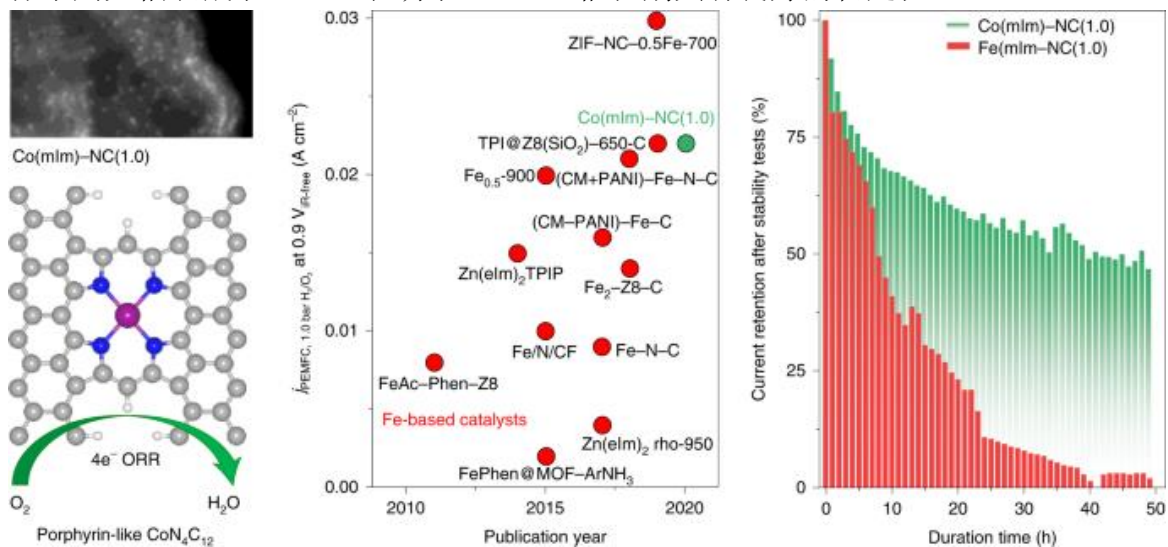


图 1 三维多孔 Co-N-C 复合单原子催化剂及其性能

该项研究利用模板法制备了一种三维多孔 Co-N-C 复合单原子催化剂，独特的三维多孔 C 负载架构增加了暴露的催化活性位点，碳氢化合物网络有效地“隔离”了 Co 原子避免其产生团簇，进而增强了催化剂的 ORR 活性和长程稳定性，为开发高性能低成本的质子交换膜燃料电池催化剂指明了新方向。相关研究成果发表在《*Nature Catalysis*》<sup>28</sup>。

(王珍 郭楷模)

## 德国乌尔姆大学开发极端寒冷条件下太阳能热耦合制氢系统

气候寒冷偏远地区的燃料输送和使用存在较大困难，将可再生能源生产的绿氢作为替代燃料，其易于在低温环境下保存，对于满足寒冷地区能源需求有较大潜力。然而，大多数制氢方法在零下温度的气候环境中无法很好地工作。德国乌尔姆大学 Matthias May 团队开发出一种可在零下 20℃ 环境下运行的太阳能热耦合水解制氢系

<sup>28</sup> Xiaohong Xie, Cheng He, Boyang Li, et al. Performance enhancement and degradation mechanism identification of a single-atom Co-N-C catalyst for proton exchange membrane fuel cells. *Nature Catalysis*, 2020, DOI: 10.1038/s41929-020-00546-1

统，由太阳能电池系统和电化学制氢系统组成，采用了低凝固点电解质和严格的热控制设计，并利用了太阳能电池运行过程中产生的热量，使电化学设备运行温度达到 10℃左右，为极端寒冷地区、高海拔地区制氢开辟了道路。

当前，大规模水解制氢技术通常在 50-1000℃下运行，太阳能水解的实验研究通常采用约 20℃的环境温度。然而，小型分布式制氢需考虑室外温度对设备运行的影响，例如为高海拔地区气象站供电。在没有外部加热的情况下，设备的过程温度将非常接近环境温度。低电解质温度会导致更高的催化和离子传输过电位的损失，也会导致电解质出现冷冻现象，使得制氢过程停止，冷冻后的体积膨胀也会损坏反应设备。研究人员采用了低凝固点电解质（如稀硫酸），以便在较低的温度下使用。同时，通过热耦合（利用太阳能电池产生的热量）和设备隔热来补偿由于低工作温度导致的效率损失。研究人员利用数值模型研究了低温对太阳能水分解装置效率的影响，并定量分析了热耦合和隔热装置的影响。

结果显示，低温将导致电化学组件的催化性能降低，欧姆损失增加，但另一方面会提升太阳能电池的效率。为了衡量两种相反的效应，研究人员开发了一个开源模型，结合了太阳能电池参数、电化学

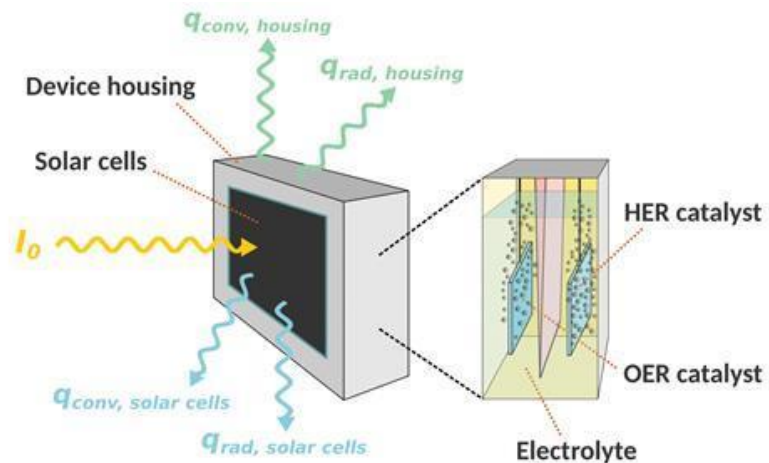


图 1 太阳能制氢热耦合装置示意图

参数以及热通量，根据太阳能电池和催化剂的温度相关电流-电压特性预测太阳能到氢气（STH）的转换效率。随后，针对由高效双结或三结 III-V 族太阳能电池和电解水制氢（析氧和析氢催化剂分别为铂<Pt>和铱氧化物<IrOx>）组成的装置进行了计算，使用凝固点为-35℃、浓度 30 wt%的稀硫酸（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）作为电解质。结果显示，随着室外温度降低，基于双结太阳能电池的无热耦合系统 STH 效率先升高后降低；基于三结太阳能电池的系统 STH 效率稳定下降；同等环境下采用热耦合设计将 STH 效率提升了 6%。进一步地，研究人员计算了设备隔热对 STH 效率的影响。模型中通过铝箔减少辐射损失，采用聚苯乙烯减少散热。对于基于双结太阳能电池的系统，隔热对随温度降低 STH 效率升高的阶段有负面影响，对随温度降低 STH 效率降低的阶段有正面影响；对基于三结太阳能电池的系统，隔热始终有正面影响。基于数值模拟结果，研究人员在实验室条件下进行了验证。基于商用三结镓铟磷/镓铟砷/锗（GaInP/GaInAs/Ge）太阳能电池和使用商用 Pt 和 IrOx 催化剂的电解器构建了实验

装置,在-20.5℃至-19.2℃的环境温度、AM 1.5 光照下运行了 3 小时,比较了无热耦合、热耦合系统和热耦合/隔热系统的工作电流、工作电压和运行温度。其中,电解器采用了新型的无膜概念,电极通过楔型块分隔,产物利用浮力分离。由于运行中超过了热中性电压,无热耦合系统的电解质温度仅略微升高,而太阳能电池温度升高,降低了开路电位,因此工作电位略有增加并超过太阳能电池的最大功率点(MPP),导致工作电流急剧下降。而热耦合系统和热耦合/隔热系统的电解液温度分别达到-4.5℃和 13.5℃,其对转换效率的影响超过了太阳能电池的效率损失,工作电流增加,工作电位降低。根据实验结果可得出,三种设计下的 STH 效率分别达到 10.3%、11.2% 和 11.4%。

该项研究克服了传统的太阳能制氢系统不能在零度以下运行的缺陷,利用低凝固点电解质、热管理和热耦合设计,构建了可运行于-20℃的太阳能电池与电解制氢集成系统,并进行了实验验证,为寒冷地区和高海拔地区的脱碳能源供应提供了具有前景的方式。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》<sup>29</sup>。

(高天 岳芳)

---

<sup>29</sup> Moritz Kölbach, Kira Rehfel, Matthias M. May. Efficiency gains for thermally coupled solar hydrogen production in extreme cold. *Energy & Environmental Science*, 2021, DOI: 10.1039/d1ee00650a

# 能源战略研究

## IRENA：可再生能源电力成本持续下降 竞争力日益增强

6月22日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《2020年可再生能源发电成本报告》<sup>30</sup>，指出得益于技术进步、规模经济、竞争性供应链和开发人员经验不断改善，可再生能源电力成本持续下降。过去二十年，全球可再生能源装机容量增长了3.7倍，从2000年的754吉瓦增长到2020年的2799吉瓦。大多数新投产的可再生能源电力成本已经比最便宜的化石燃料发电成本要低。越来越低的可再生能源发电成本，使得采用可再生能源大规模代替煤炭发电成为可能。具体内容如下：

### 一、2020年太阳能和风能发电成本持续下降，其中太阳能热发电降幅最大

与2019年相比，2020年全球陆上风电新增装机的平准化度电成本（LCOE）加权平均值降幅最大，达到13%，从0.045美元/千瓦时降至0.039美元/千瓦时，略高于2019年的降幅。同期，海上风能LCOE下降了9%，从0.093美元/千瓦时降至0.084美元/千瓦时。公用事业规模太阳能光伏（PV）的LCOE下降了7%，从0.061美元/千瓦时降至0.057美元/千瓦时，低于2019年13%的降幅。到2020年，公用事业规模的全球光伏装机成本加权平均值下降了12%，仅为883美元/千瓦。新建太阳能热发电（CSP）项目的LCOE同比下降了16%。

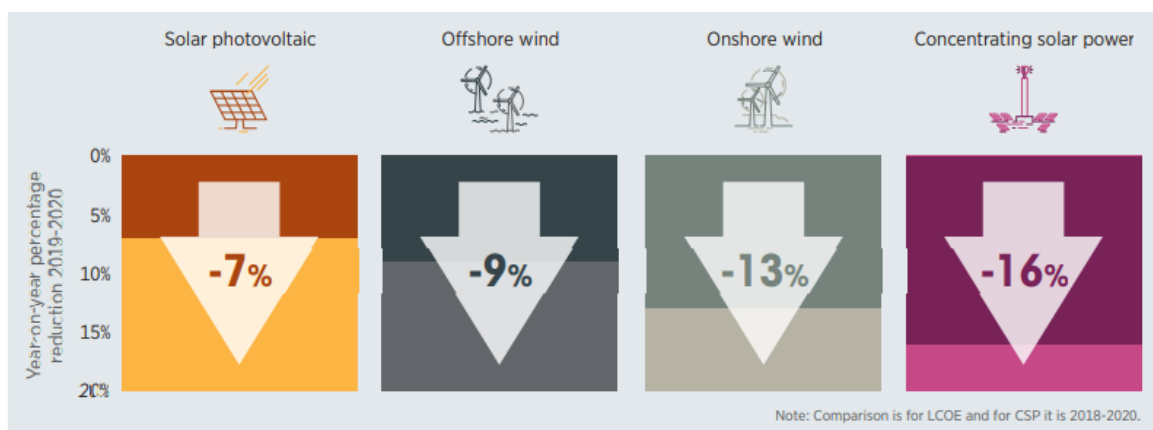


图1 2019-2020年全球公共事业规模的太阳能和风能发电LCOE加权平均值变化趋势

### 二、2010-2020年可再生能源发电成本显著降低

过去十年，受政策支持与产业发展推动，以太阳能和风能为代表的可再生能源发电价格逐步降到了与化石燃料相当的水平，可再生能源在电力系统中的装机规模越来越大。其中太阳能光伏（公共事业规模和屋顶分布式）的加权平均装机成本大

<sup>30</sup> Renewable Power Generation Costs in 2020. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>



幅下降了 81%，从 2010 年的 4731 美元/千瓦降至 2020 年的 883 美元/千瓦，全球累计装机容量从 2010 年的 42 吉瓦增加到 2020 年的 714 吉瓦。陆上风电加权平均装机容量成本从 2010 年的 1971 美元/千瓦降至 2020 年的 1355 美元/千瓦，累计装机容量从 2010 年的 178 吉瓦增加到 2020 年的 699 吉瓦。2010-2020 年间，太阳能光伏发电的 LCOE 从 0.381 美元/千瓦时降至 0.057 美元/千瓦时，降幅达 85%，成本的下降主要归因于安装成本下降。与之相比，陆上风力发电成本的下降更多是由于涡轮机价格下降和更高容量涡轮机的普及带来的发电效率提升。海上风电新投产项目的 LCOE 从 2010 年的 0.162 美元/千瓦时降低到 2020 年的 0.084 美元/千瓦时，降幅高达 48%，截至 2020 年底，海上风电累计装机容量仅为 34 吉瓦，为陆上风电的二十分之一。2010-2020 年间，CSP 的 LCOE 从 0.340 美元/千瓦时降至 0.108 美元/千瓦时，降幅达 68%，截至 2020 年底，CSP 累计装机容量仅为 6.5 吉瓦，不到太阳能光伏装机规模的百分之一。2010-2020 年，生物质发电新增装机 60 吉瓦，LCOE 基本不变，2020 年约为 0.076 美元/千瓦时，其中印度为 0.057 美元/千瓦时、中国为 0.06 美元/千瓦时、欧洲为 0.087 美元/千瓦时、北美为 0.097 美元/千瓦时。同期，水力发电新增装机规模 715 吉瓦，LCOE 增加 18%，从 0.038 美元/千瓦时上升到 0.044 美元/千瓦时。此外，2010-2020 年，全球地热能发电 LCOE 从 0.049 美元/千瓦时增长到 0.071 美元/千瓦时，2020 年新增装机规模同比增加 192 兆瓦。

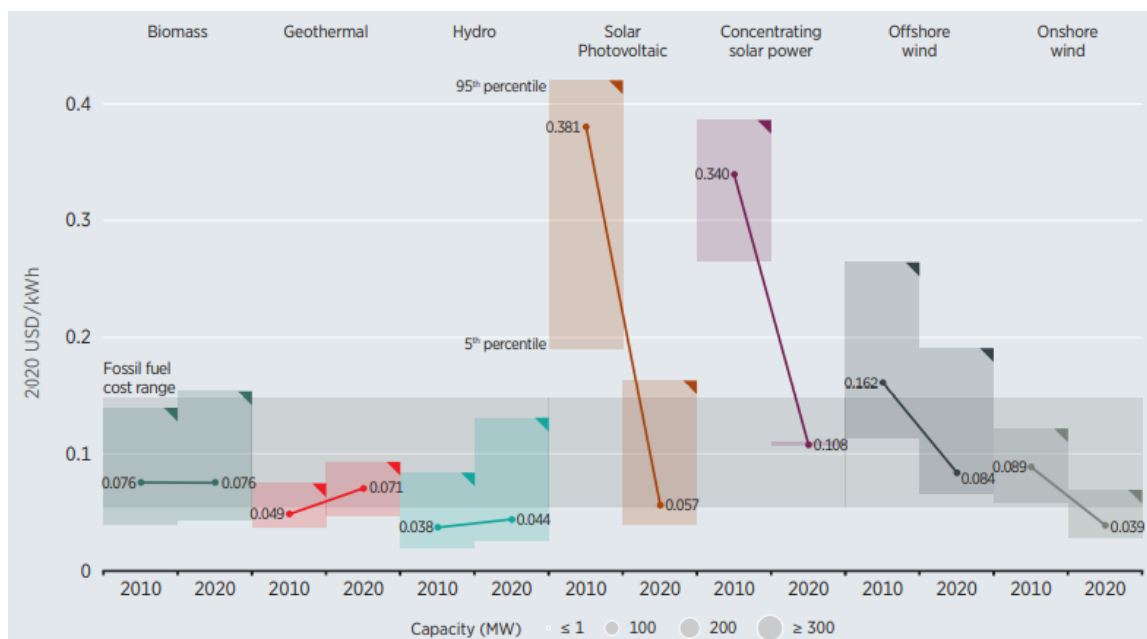


图 2 2010-2020 年全球新投产的不同可再生能源电力的 LCOE 变化态势  
(单位：美元/千瓦时)

### 三、可再生能源发电成本的不断降低将限制燃煤发电发展

自 2010 年以来，全球累计新增可再生能源装机容量 644 吉瓦，在新兴经济体中，可再生能源新增发电量累计达到 534 吉瓦，为这些国家电力系统累计节省 320

亿美元开支。随着太阳能光伏发电和陆上风力发电成本的下降，新的可再生能源发电成本不仅比新建化石燃料发电厂的电力成本更低，还将影响现有燃煤发电厂的运营成本。例如，2010-2020年间，印度燃煤电厂平均容量因子从78%下降到53%；同期，美国燃煤电厂平均容量因子从65%下降到40%左右，导致美国煤电装机容量下降了近三分之一，从2011年峰值的318吉瓦降至2020年底的216吉瓦。由于燃煤电厂的固定运营成本较高，发电厂容量因子降低后，运行成本大幅上升，进一步削弱了燃煤电厂的竞争力。随着新的可再生能源投产、能源效率提升以及一些地区使用天然气，都将导致现有燃煤电厂产能下降，在未来燃煤发电收益不足以维持正常运营的情况下，燃煤电厂投资热情将受到大幅抑制。总体而言，2020年有超过800吉瓦的燃煤发电厂运营成本高于新建的公共事业规模太阳能光伏和陆上风电。替换这些燃煤电厂，每年将最少节约320亿美元的系统成本，以及减少约30亿吨的CO<sub>2</sub>排放。

#### 四、低成本的太阳能和风能制氢为电力部门提供了一条经济的脱碳途径

目前，人们普遍认为，通过可再生能源制氢（绿氢）以及合成燃料和化学品等间接脱碳成本高昂，造成这种观念的主要因素包括：第一，由于太阳能和风能容量因子较低，导致电解槽负荷时间较短，可再生能源电力成本较高；第二，制氢电解槽装机成本较高，需要长时间可再生能源负荷运行才能生产低成本氢。就目前而言，低成本的太阳能光伏和陆上风能是可以实现的。研究表明，首先，即使在可再生能源生产成本显著降低和电解槽性能改善之前，在特定市场（如太阳能光伏和陆上风能资源都很丰富的沙特阿拉伯）生产绿氢也能够具有良好竞争力。其次，低成本的太阳能和风能制氢最初可能需要依赖于具有丰富太阳能和风能资源的地区，但中长期来看，随着电解槽成本降低和性能改善，地理位置的限制作用会逐步减弱。

#### 五、未来还应加快部署太阳能供热技术以助力实现全球温升控制在1.5°C之内

在全球所有地区，太阳能供热技术被用于为工业和建筑部门提供低温热能，目前仍处于发展早期阶段。2018年太阳能供热装机容量仅为4吉瓦，为实现《巴黎气候协定》以及全球温升控制在1.5°C的目标，要求到2050年太阳能供热的装机容量达到1290吉瓦。而2020年，欧洲太阳能供热的装机容量仅增加3%，增长速度过于缓慢。丹麦的太阳能供热装机容量居全球首位，截至2020年底累计装机规模达到1吉瓦。其中集中式太阳能热电站加权LCOE从2010年的0.066美元/千瓦时降至2019年的0.045美元/千瓦时。并且，随着供应链竞争的日益激烈以及开发经验的积累，丹麦太阳能供热技术的平准化成本具有急剧下降的发展趋势。其他国家也呈现下降趋势，奥地利在2013-2020年间太阳能供热的加权平均装机成本下降了55%；德国在2014-2020年间下降了45%；墨西哥在2010-2020年间下降了17%。

（汤匀 郭楷模）



## 《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 汤匀

联系电话：(027) 87199180

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