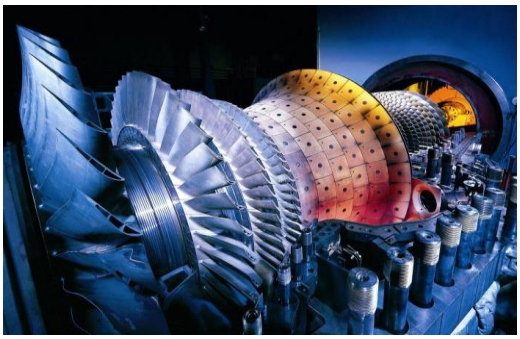
中国科学院文献情报系统先进能源情报网

2019 年第 02 期（总第 328 期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- BNEF：2018 年全球清洁能源投资再破 3000 亿美元大关
- 欧盟公布面向 2050 气候中性经济体战略愿景
- NEA 发布核能数据报告评述成员国核能发展态势
- DOE 资助 8800 万美元支持提高油气采收率技术开发
- ARPA-E 资助 1100 万美元支持 OPEN+第四、五批研究项目

主管： 中国科学院文献情报系统战略情报服务协调组

主办： 中 国 科 学 院 武 汉 文 献 情 报 中 心

中国科学院武汉文献情报中心
Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences
湖北省科学图书馆
Hubei Sciences Library

《先进能源科技动态监测快报》
中国科学院武汉文献情报中心
湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号（430071）
网址：
http://www.whlib.ac.cn
联系人：
郭楷模
guokm@whlib.ac.cn
电话：
027-87199180

先进能源情报网
http://energy.whlib.ac.cn

先进能源科技战略情报研究中心微信公众号

先进能源情报网微信公众号

中国科学院文献情报系统先进能源情报网简介

中国科学院文献情报系统先进能源情报网是在中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组的整体组织和指导下，由中国科学院武汉文献情报中心牵头组建，联合中国科学院文献情报系统能源领域相关研究所，共同搭建的情报研究资源共享及协同服务的非营利性情报研究及服务团体。先进能源情报网将汇聚中科院文献情报系统内与领域相关的战略情报研究人员、学科情报人员、研究所科研管理人员、研究所文献情报人员，以及相关的管理和学科专家，通过“协同开展情报研究服务、组合共建情报产品体系、促进情报资源交流共享、提升整体情报保障能力”的工作方式，创新院所协同的情报研究和服务保障模式，促进情报资源的共享、情报需求和情报供给的对接、情报技术方法的合作开发，实现情报能力的扩散和提升,进而对中国科学院各个层面（院层面、所层面、项目团队层面及科研人员层面）的重要情报需求提供坚实保障。

先进能源情报网成员单位

成员单位	单位名称
组长单位	武汉文献情报中心
副组长单位（排名不分先后）	合肥物质科学研究院 大连化学物理研究所 青岛生物能源与过程研究所 广州能源研究所
成员单位（排名不分先后）	上海高等研究院 山西煤炭化学研究所 上海应用物理研究所 兰州近代物理研究所 广州地球化学研究所 过程工程研究所 电工研究所 工程热物理研究所 武汉岩土力学研究所 武汉物理与数学研究所 苏州纳米技术与纳米仿生研究所 福建物质结构研究所

目 录

决策参考

BNEF：2018 年全球清洁能源投资再破 3000 亿美元大关…… 2
欧盟公布面向 2050 气候中性经济体战略愿景 …… 4
NEA 发布核能数据报告评述成员国核能发展态势…… 6

项目计划

DOE 资助 8800 万美元支持提高油气采收率技术开发 …… 9
ARPA-E 资助 1100 万美元支持 OPEN+第四、五批研究项目 ……10
DOE 资助 2500 万美元研发下一代海洋能转换装置 ……11

前沿与装备

窄带隙锡铅复合钙钛矿太阳电池创下 19%转换效率记录 ……12
基于菲醌大环化合物正极铝离子电池实现高效稳定运行……13
原位表征揭露铱单原子催化剂氧化 CO 反应机理……14
双功能 Co 掺杂 SnS_2 复合物有效抑制锂硫电池穿梭效应……15

恭 祝 春 节 快 乐， 阖 家 幸 福

专辑主编：陈 伟 联系邮箱：energy@whlib.ac.cn
本期责编：郭楷模 出版日期：2019 年 01 月 15 日

本期概要

彭博新能源财经发布统计数据显示，2018 年全球清洁能源投资总额较 2017 年小幅下滑 8%，但仍然突破 3000 亿美元大关，达 3321 亿美元，是连续第五年投资额超过 3000 亿美元：从投资类别来看，企业清洁能源研发投资下滑 6%至 209 亿美元；政府研发则增长了 4%，为 150 亿美元；风险资本和私募股权投资大幅飙涨 127%达到 92 亿美元，为 2010 年以来的最高值。从行业来看，2018 年太阳能行业投资额为 1308 亿美元，较去年大幅下降了 24%，主要原因是光伏资本成本下滑以及市场供过于求，尽管如此，太阳能依旧领跑清洁能源投资排行榜。从国别来看，2018 年中国依旧是全球最大的清洁能源投资国，但投资总额较 2017 年大幅下降 32%至 1001 亿美元。美国上涨 12%至 642 亿美元，位列全球第二。欧洲的清洁能源投资增长 27%，达到 745 亿美元。在新兴经济体中，南非飙升 40 倍至 42 亿美元；越南大涨 18 倍至 33 亿美元；印度下滑 21%达到 111 亿美元。

欧盟委员会公布《欧洲远期战略愿景——给所有人一个清洁星球》报告，提出了到 2050 年将欧洲建成繁荣、现代、有竞争力的气候中性经济体战略愿景：为了顺利实现上述愿景，报告明确提出各利益相关方需要在七个战略领域采取联合行动，包括：能效，可再生能源部署，清洁、安全、互联交通，竞争性工业和循环经济，基础设施和互联，生物经济和天然碳汇，碳捕集和封存技术。

经合组织核能署（OECD-NEA）发布《核能数据 2018》报告，系统概述了成员国核电装机容量、发电量、反应堆、燃料循环等方面的发展情况：2017 年，NEA 成员国核能发电量在总发电量中的占比从 2016 年的 18%小幅减少到 17.9%，而核能装机总量下降 0.6%，从 2016 年的 326.7 GW 降至 2017 年的 324.8 GW。截至 2018 年 1 月 1 日，NEA 成员国总计有 348 座反应堆并网，有 25 座反应堆正在建设中，其中日本的 3 座反应堆建设目前处于停滞状态。2017 年铀市场价格低迷导致勘探活动减少，使得铀产量下滑 4%至 5.9 万吨。NEA 成员国的乏燃料贮存库容量足以满足需求，且会逐步扩容以满足反应堆运营对乏燃料贮存容量增长需求，直到建成永久贮存库。

美国能源部（DOE）宣布资助 8800 万美元用于支持提高油气采收率的技术研发项目，主要聚焦两大技术主题，包括：（1）提高采收率（EOR）的先进技术，目的在于降低 EOR 相关技术风险并扩大提高 EOR 技术部署规模；（2）非常规油气资源采收技术，致力于完善常规油气储层全面表征技术和有效评价；旨在提高油气采收率（EOR）以最大限度地获取油气储量，进一步扩大美国常规和非常规油气资源经济价值。

美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）公布了“OPEN+”开放式招标群组资助子计划的第四、第五批项目资助：主要聚焦“能源-水技术”和“生物能源及农业应用传感器技术”两大主题，前者主要目的在于开发工业（主要是石油和天然气）和城市废水的新型节能处理技术，后者主要致力于研发超低能量分布式传感器，以提高农业生产效率和生物能源作物生存能力，降低农业的能源和水需求。

BNEF：2018 年全球清洁能源投资再破 3000 亿美元大关

1 月中旬，彭博新能源财经发布统计数据显示[1]，2018 年全球清洁能源[2]投资总额较 2017 年小幅下滑 8%，但仍然突破 3000 亿美元大关，达 3321 亿美元，是连续第五年投资额超过 3000 亿美元，表明清洁能源产业吸引投资能力强劲。

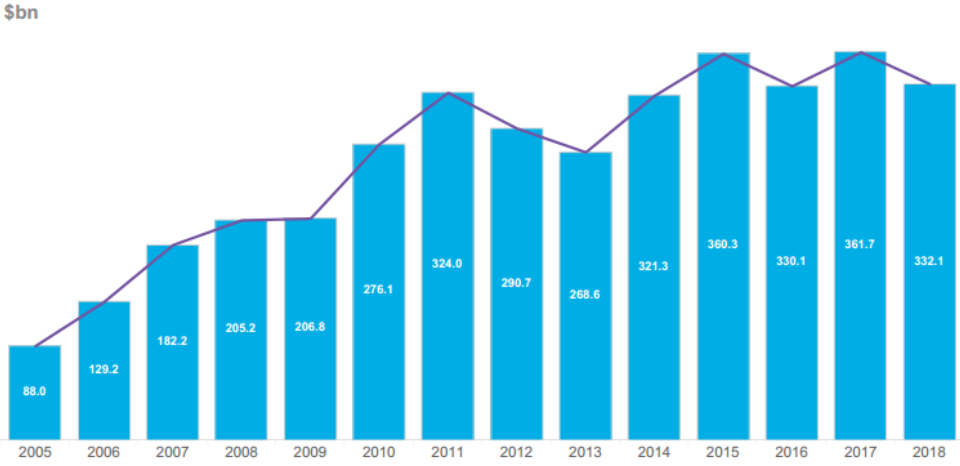


图 1 2004-2018 年全球清洁能源投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从投资类别来看，企业清洁能源研发投资下滑 6%至 209 亿美元；政府研发则增长了 4%，为 150 亿美元；清洁能源公司公共市场融资大幅增长 20%至 105 亿美元，其中最大的融资项目来自中国蔚来电动汽车公司的 12 亿美元；风险资本和私募股权投资大幅飙涨 127%达到 92 亿美元，为 2010 年以来的最高值。最大的交易是美国智能窗户制造商 View 的 11 亿美元资金，以及中国游侠电动汽车公司的 7.95 亿美元。事实上，2018 年开展风险资本和私募股权投资的中国电动汽车公司不少于 8 家，涉及金额总计约 33 亿美元。

[1] Clean Energy Investment Exceeded $300 Billion Once Again in 2018. https://about.bnef.com/blog/clean-energy-investment-exceeded-300-billion-2018/

[2] 此报告所指清洁能源种类包括风能，太阳能发电，生物燃料，生物质、废弃物能源化，地热，小水电，海洋能，能效，如智能电网、能源管理、电动汽车及储能等能源智能技术，碳捕获与封存及低碳服务与支持等；但不包括大水电（>50 MW）、太阳能热利用，热电联产，可再生能源供热，核能。

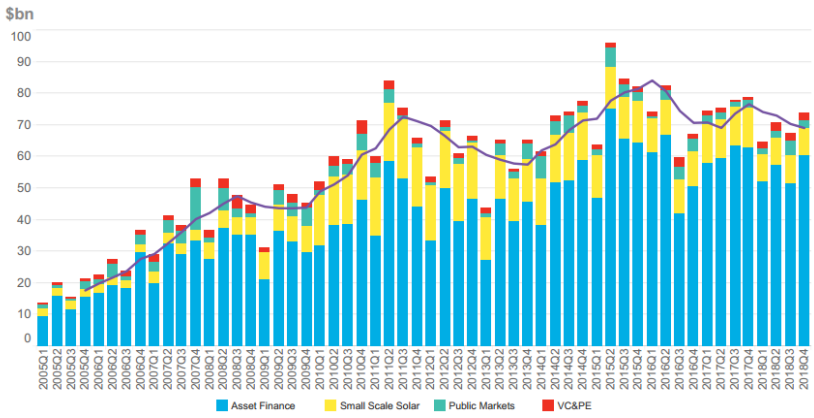


图 2　2004-2018 年全球清洁能源不同资产投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从行业来看，2018 年太阳能行业投资额为 1308 亿美元，较去年大幅下降了 24%，主要原因是光伏资本成本下滑以及市场供过于求，尽管如此，太阳能依旧领跑清洁能源投资排行榜；位列投资排行榜第二的风电行业，投资额达到 1286 亿美元，同比增长 3%，增长的主要来源是海上风电，吸引了 257 亿美元投资，较去年大幅增加 14%；同期陆上风电投资增长了 2%至 1008 亿美元。其他清洁能源行业投资依旧大幅落后，且变化不一、涨跌均有，其中：生物质能投资额增长了 18%至 63 亿美元；生物燃料投资大幅增加 47%至 30 亿美元；小型水电投资爆降 50%至 17 亿美元；地热能增长 10%至 18 亿美元；海洋能源投资上涨 16%达 1.8 亿美元。

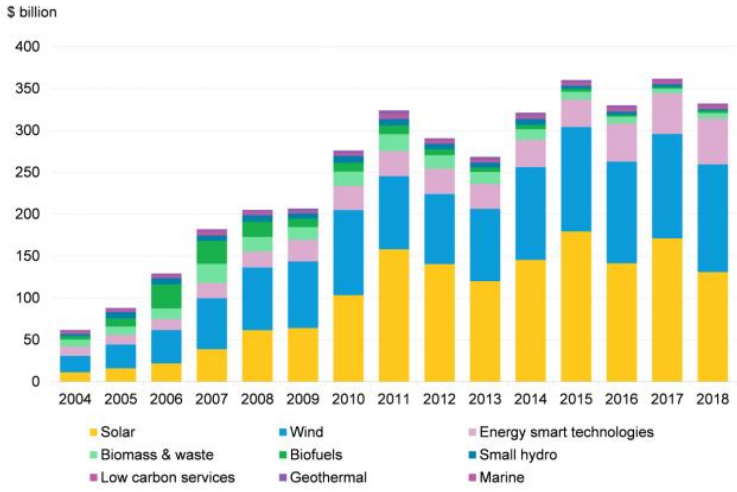


图 3　2004-2018 年不同清洁能源行业投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从国别来看，2018 年中国依旧是全球最大的清洁能源投资国，但投资总额较 2017 年大幅下降 32%至 1001 亿美元，主要原因是中国政府为了抑制光伏抢装热潮出台了新光伏政策，再次调降光伏上网电价，导致光伏投资商热情下降。为了赶上税收抵免优惠政策末班车，美国清洁能源投资商大量涌入风电和光伏项目，使得美国 2018 年的清洁能源投资总额上涨 12%至 642 亿美元，排名全球第二。得益于 5 个总价值 10 亿美元的海上风电项目融资顺利推进，欧洲的清洁能源投资增长 27%，达到 745 亿美元。但欧盟成员国发展情况不同，其中：德国清洁能源投资较 2017 年

大幅下滑 32%，但仍以 105 亿美元维持了其欧洲第一大清洁能源投资国地位；英国以 104 亿美元投资额紧随其后，同比上涨 1%；乌克兰大幅飙涨 15 倍至 24 亿美元，成为增长最为显著的欧洲国家；西班牙增长 7 倍至 78 亿美元；丹麦增长 5 倍，达 32 亿美元；比利时增长 4 倍到 29 亿美元；荷兰同比上涨 60%达 56 亿美元；瑞典上扬 37%至 55 亿美元；法国增长 7%至 53 亿美元；挪威投资额与去年持平。在新兴经济体中，南非飙升 40 倍至 42 亿美元；越南大涨 18 倍至 33 亿美元；印度下滑 21%达到 111 亿美元。

（郭楷模）

欧盟公布面向 2050 气候中性经济体战略愿景

11 月 28 日，欧盟委员会通过了一份名为《欧洲远期战略愿景——给所有人一个清洁星球》报告[3]，即到 2050 年将欧洲建成繁荣、现代、有竞争力的气候中性[4]经济体。该战略愿景旨在展示如何在保障社会公平前提下，通过投资可行的技术解决方案来实现气候中性经济体构建的目标。为了确保目标的实现，报告明确提出各利益相关方需要在七个战略领域采取联合行动，包括：能效，可再生能源部署，清洁、安全、互联交通，竞争性工业和循环经济，基础设施和互联，生物经济和天然碳汇，碳捕集和封存技术。报告要点如下：

1、能效

能效措施将在气候中性经济体构建中发挥关键作用，预计到 2050 年通过改善能效能够将欧洲能源消耗总量较 2005 年水平减少一半。由于使用欧盟能效标准的家用电器和电子产品会出口到欧洲以外的市场，使得能效数字化和家庭自动化以及能效标签的影响将超出欧盟范围。能效将在工业脱碳中发挥核心作用，但未来能源需求减少将主要来自住宅和服务业，当前上述两个行业能源消耗量占到能源消耗总量的近 40%。因此在工业、住宅、服务业领域普及可再生能源供暖、高能效家用电器、智能能源管理系统等，对减少能耗和温室气体排放意义重大。

2、可再生能源

最大化部署可再生能源和电力，使欧洲能源供应完全脱碳化。到 2050 年，可再生能源广泛部署将推动能源系统大规模电气化，终端用户和无碳燃料生产、原料行业都将发生根本变化。届时，可再生能源将成为主要的能源资源，从而极大改善能源供应安全。欧洲能源（主要是石油和天然气）进口对外依存度将从目前的 55%降至 2050 年的 20%，预计为欧洲节省 2-3 万亿欧元的能源支出成本。可再生能源大规模部署将促进经济电气化和能源系统去中心化，2050 年电力在终端能源需求占比将翻倍达到 53%，电力生产将实现净零排放。可再生能源部署也为供热、运输和工业

[3] A Clean Planet for all. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf
[4] 气候中性是指让温室气体的消耗量与排放量大体相当，从而实现温室气体的净零排放。

等其他部门脱碳提供了机会，如直接使用可再生能源电力或间接通过可再生电力生产清洁燃料（如电解水制氢）。“能源到 X”技术[5]的优势在于合成燃料可以在不同领域以多种方式储存和使用。在利基应用和完全脱碳电力系统中，可以从工业过程中捕获二氧化碳作为原料，如果从生物发电过程或直接从空气中捕获二氧化碳（尚未经过大规模测试），则有可能获得零排放燃料。向基于可再生能源的大规模分布式电力系统过渡需要更智能、灵活的系统。

3、清洁、安全、互联交通

欧盟约 1/4 温室气体排放来自交通运输行业，该行业脱碳的关键在于将零排放、分布式和数字化电力系统、高效可持续电池、高效电动动力系统、互联交通和自动驾驶等各种技术进行有机整合。此外，还可发展电气化的短途海运和内陆水运技术。目前电池成本和性能水平尚不适用于航空和长途公路运输，长途运输最节能的选择仍然是铁路。因此，需解决国家铁路网之间的运营和技术障碍，促进铁路运输技术创新并提升效率。替代燃料对交通运输行业脱碳十分重要，基于氢燃料的动力技术（如燃料电池汽车和运输船）在中长期内都将有竞争力，高比例混合生物甲烷的液化天然气短期内也是长途运输燃料的替代品，航空燃料需向先进生物燃料和电力驱动转变，生物燃料、生物质气和电驱动均有助于长途运输和重型卡车的脱碳。基于数字化、数据共享和互操作的交通系统能够减少拥堵，提高运输效率。城市规划、安全骑行、鼓励步行、清洁公共交通、无人机货运以及共享交通（如共享汽车和自行车）都将在促进交通脱碳化过程中发挥关键作用，极大改善城市生活质量。实现 2050 年净零排放还需配套基础设施，到 2030 年应完成全欧火车交通网络（TEN-T）建设，到 2050 年完成全面交通网络建设。欧洲铁路运输管理系统（ERTM）将使高速列车代替航空成为欧洲短程和中程旅行的首选。

4、竞争性工业和循环经济

具有竞争力的欧盟工业和循环经济是减少温室气体排放的关键因素。当前欧盟工业效率已达全球最高水平，需发展具有竞争力的资源效率和循环经济以保持领先地位。原材料回收和再循环将减少能源需求，进而减少污染和温室气体排放。发挥新材料在传统行业中的作用，以及采用复合材料替代能源密集型材料，都将推动工业部门低碳排放。数字化和自动化在短期内是促进欧盟工业转型，提高竞争力的有力途径。加大电气化，普及氢气、生物质和可再生合成气的使用以及发展碳捕集、封存和利用技术（CCUS）也可减少工业生产过程中的排放。钢铁、水泥和化学品行业主导工业碳排放，未来 10 至 15 年，一些有助于降低排放的现有技术需经过工业规模试点验证，如氢气炼钢。新型工业产品如碳纤维或更坚固水泥所需的突破性技术需要通过研发和示范以降低成本。

[5] “能源到 X”技术指将电能转化为合成气体（氢气、甲烷等）和液体的技术。使用无碳电力生产的氢气和可持续生物质或直接空气捕获的二氧化碳相结合，可以生产与石油或天然气相同分子的碳中性替代品。

5、开发智能网络基础设施

充足的智能基础设施可确保欧洲的互联和部门一体化。欧盟需继续重视并按时完成全欧火车交通网络（TEN-T）和能源网络（TEN-E）建设。欧洲需要足够基础设施以支持未来能源输配网发展，将主要从智能电网和数据/信息网、氢气运输管道、数字化以及用能部门耦合方面发展。交通部门转型需加速部署相关基础设施，通过智能充电站或加油站增强运输和能源系统协同，实现无缝跨境服务。

6、发展生物经济和天然碳汇

可持续生物质在净零排放经济中发挥重要作用：生物质可直接供热，也可转化为生物燃料和沼气，通过天然气管道输送；生物质发电时可捕获二氧化碳排放；生物质可替代碳密集型材料用于建筑领域，也可生产生物基产品，如生物化学品（纺织品、生物塑料和复合材料）。零排放经济需增加对生物质的使用，预测显示，到2050 年生物质能消耗量将比现在增加约 80%。通过采用高效可持续生产方法，将减少农业生产的碳排放；数字化和智能技术将推动实现精准农业；通过厌氧消化池处理畜禽粪便可减少碳排放并生产沼气；先进农业系统能够提高生产力，减少环境影响；通过使用免耕作和覆盖作物，可增加农业土壤的碳储存量；使用有机土壤以及恢复泥炭地和湿地可大量减少碳排放。深林、土壤、农田和沿海湿地生产的碳汇可抵消其他部门的碳排放，基于自然生态系统的解决方案有益于水资源管理、生物多样性和气候适应性。

7、碳捕集和封存（CCS）

CCS 技术有助于减少碳排放，由于一些成员国的监管壁垒和公众接受度有限，CCS 尚未进入商业化，还需进行更大规模研究、创新和示范以促进 CCS 在未来十年内大规模部署应用，如部署于能源密集型产业、生物质以及碳中性燃料生产厂。此外还需建设运输和存储相关基础设施，并采取协调有力的行动以确保在欧盟建立示范和商业设施，并解决某些成员国公共舆论问题。

（岳芳 郭楷模）

NEA 发布核能数据报告评述成员国核能发展态势

12 月 14 日，经合组织核能署（OECD-NEA）发布《核能数据 2018》报告[6]指出，尽管面临天然气强势崛起、煤炭等化石能源价格持续低位徘徊和可再生能源的激烈竞争等挑战，核电依旧是重要的零碳基荷电力。报告系统概述了 NEA 成员国核能发展情况，主要涉及核电装机容量、发电量、反应堆、燃料循环、核能政策等方面内容。关键要点如下：

1、核电发展情况

[6] Nuclear Energy Data 2018. https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2018/7416-ned-2018.pdf

2017 年，NEA 成员国总发电量较 2016 年略微下降 0.02%，同期核能发电量下降了 0.7%。同样的情况也出现在 OECD 国家，2017 年总发电量也小幅下降 0.05%，核能发电量下降了 1%。NEA 成员国核能发电量在总发电量中的占比从 2016 年的 18%小幅减少至 2017 年的 17.9%，而核能装机总量下降 0.6%，从 2016 年的 326.7 GW 降至 2017 年的 324.8 GW。OECD 国家核能发电量占比同样出现了下滑，从 17.8%降至 17.6%；而总装机容量下降 1.2%，从 2016 年的 297.4 GW 降至 2017 年的 294 GW。

总体而言，2017 年 NEA 成员国大多数核电运营较为高效。与 2016 年相比，加拿大、捷克共和国、墨西哥、罗马尼亚、俄罗斯、斯洛文尼亚和瑞典等国家的核能发电量在 2017 年增长显著。尽管有 13 座反应堆的重启申请已获得日本原子能规制委员会（NRA）批准，但截至 2018 年 1 月 1 日，日本仅有 4 座反应堆在运行。德国核能发电量呈持续下降趋势。2017 年，在拥有核电站的 19 个 NEA 成员国中，有 9 个国家核能发电量占本国总发电量的 30%以上。

2、反应堆发展情况

截至 2018 年 1 月 1 日，NEA 成员国总计有 348 座反应堆并网，有 25 座反应堆正在建设中，其中日本 3 座反应堆建设目前处于暂停状态。此外，OECD 国家已经确定要新建 11 座反应堆，包括土耳其的首个商业发电机组；然而，有 17 座反应堆计划在 2020 年退役，这将使 OECD 国家的核能装机容量减少 16.8 GW。德国计划于 2022 年底关闭该国全部反应堆，韩国、瑞典、瑞士和美国也可能有反应堆将关闭。2017 年，德国、日本、韩国、西班牙和瑞典正式关闭了五座反应堆。

就北美成员国而言，美国受到成本上升、电力需求下降、施工延误以及项目主要承包商及反应堆设计者西屋公司破产的影响，南卡罗来纳州 VC Summer 核电项目两台 AP1000 机组的建造工作于 2017 年 8 月正式停工。但 Vogtle 两座 AP1000 反应堆将继续建造。截至 2018 年 1 月 1 日，核监管委员会（NRC）已经批准了 99 座在运反应堆中 89 座堆的延长寿命许可申请，另外有 5 座反应堆的延寿许可申请正在审查中。加拿大安大略省政府于 2017 年承诺将继续翻新 Darlinton 核电站 3 号机组，Bruce 核电站翻修工程将于 2020 年开始。加拿大于 2017 年 10 月开始小型模块化反应堆（SMRs）开发和部署路线图的制定工作，该路线图于 2018 年 2 月正式发布。

就欧洲成员国而言，俄罗斯首座 VVER-1200 反应堆 Novovoronezh II 核电站 1 号机组已开始商业化运行。罗斯托夫（Rostov）核电站 2 号机组和列宁格勒（Leningrad）核电站 2 号机组已经完成了物理启动试验。巴拉科沃（Balakovo）核电站 2 号机组已完成延长寿命工程成，并获得了延长运营许可。英国于 2017 年 1 月启动了“华龙一号”（HPR1000）通用设计评估（GDA）；3 月，西屋电气公司的 AP1000 反应堆设计完成了 GDA，并被确认适合在英国建造，与此同时英国核监管办公室（ONR）批准了欣克利角 C 核电站建造工作；12 月，通用-日立（Hitachi-GE）公司设计的英国

先进沸水反应堆（ABWR）完成了 GDA 程序。法国弗拉芒维尔压水堆（EPR）的启动时间尽管被延迟，但其建造工作在 2017 年依旧有序开展。随着新阿海珐集团完成了资本重组（重组后公司更名为 Orano），以及法国电力公司（EDF）完成对阿海珐子公司的核反应堆收购，法国核工业业务重组的关键工作已经完成。西班牙核安全理事会于 2017 年 8 月否决了 Santa Maria de Garona 核电厂翻新许可证的申请。该核电站于 2012 年 12 月脱网，并于 2017 年 8 月 1 日停运。

就亚洲成员国而言，日本原子能规制委员会（NRA）已经批准重启 13 座反应堆，但截至 2018 年 1 月 1 日，只有 4 座反应堆在运行。反应堆重启需经过司法裁决并获得公众同意。韩国第一座核电站 Kori 的 1 号机组于 2017 年 6 月永久关闭，而韩国自主设计的先进压水堆（APR-1400）Shin-kori 核电站 5、6 号机组建造工作因未获得公众认可而处于中断状态。

3、核燃料循环

2017 年铀市场价格低迷导致勘探活动减少，使得铀产量下滑。其中几个受影响的较大事件有：加拿大的麦克阿瑟河铀矿和基湖铀矿均宣布停产，哈萨克斯坦减产，以及美国许多地浸采铀矿区计划推迟新井田的开发。纳米比亚的萨博铀矿于 2016 年 12 月开始生产，预计在未来几年内将全面投产。由于澳大利亚、加拿大和哈萨克斯坦的采矿产量下降，导致全球铀产量减少至 5.9 万吨，较 2016 年下滑约 4%。由于澳大利亚和加拿大铀矿产量下降，2017 年 NEA 成员国的铀矿总产量减少了 7%至 2.2 万吨（OECD 国家则下降了 6%）。尽管如此，NEA 成员国铀矿产量仍能满足成员国反应堆近 42%的铀资源需求，OECD 国家这个比例约为 44%。与过去几年一样，铀进口对于满足 NEA 和 OECD 国家反应堆的铀资源需求至关重要。

加拿大、法国、俄罗斯和美国均有商业铀转化设施在运行。然而，由于近年来持续供过于求，大多数转化设施都只是按照设计产能的 50%-70%在运行。2017 年，法国马尔维斯和特里卡斯丁的新 Comurhex II 转化工厂建设工作仍紧张进行。2017 年 11 月，霍尼韦尔宣布停止美国伊利诺伊州 ConverDyn 铀转化设施 UF_6 的生产，但该公司表示，一旦市场状况改善，将重新开始生产。目前，霍尼韦尔公司正在向 NRC 申请更新该设施的运行许可证。

NEA 成员国的乏燃料贮存库容量足以满足需求，且会逐步扩容以满足反应堆运营对乏燃料贮存容量增长需求，直到建成永久贮存库。加拿大、芬兰、法国、德国、韩国、西班牙和英国在内的几个国家都发布相关报告称在用于处置乏燃料和其他形式放射性废物的永久贮存库建设方面取得了进展。芬兰是全球首个开始建造高放废物永久贮存库的国家，计划于 2020 年代初开始投入运营。

4、核能政策要点

2017 年，在“清洁能源部长级会议（CEM）”框架下，美国、加拿大和日本发起“核能创新：清洁能源未来”合作关系倡议，将通过创新、集成和先进的能源系统与应用，如核能-可再生能源系统、制氢和工业脱碳等方式来解决电力和非电力系统一体化问题。

法国于 2015 年 10 月通过了《能源转型法案》，明确提出到 2025 年将核电在电力组合中的份额从 75%减少到 50%。然而，2017 年 11 月，法国政府部长理事会宣布，如果不新建新的化石燃料发电厂（不遵守法国对气候变化的承诺），这一目标将难以实现。在此期间，法国政府仍然致力于通过开发可再生能源来实现电力组合的多样化。

德国《核废料管理责任修改法》于 2017 年 6 月 16 日生效，该法案引入了一种新的责任分配模式来规定核电厂退役和拆除以及核废料管理方面的责任，确保核电站逐步退役时核电运营商能够保障财务长期安全。

韩国于 2017 年 10 月宣布了一项“能源转型政策”，提出长期逐步淘汰核能的战略设想。新政策还规定，30 年以上的燃煤发电厂应该关闭，到 2030 年可再生能源的份额应该扩大到总发电量的 20%。

2017 年 5 月，瑞士投票批准了对国家能源政策的修订，禁止建造新的核电站，但不涉及和影响在运核电站。现有的核电站只要通过瑞士联邦核安全监察局安全审查，就可以继续运行。

美国伊利诺伊州和纽约州政府根据当地电力市场的情况通过了价格支持法，即为正处于不盈利电力市场环境中的核电站提供零排放信贷（ZECs）。由于天然气供应量大幅增加、电力供过于求和可再生能源使用增加，当地电价一直较低。价格支持法的有效期为 10～12 年。

（于小燕 郭楷模）

项目计划

DOE 资助 8800 万美元支持提高油气采收率技术开发

1 月 10 日，美国能源部（DOE）宣布资助 8800 万美元用于支持提高油气采收率的技术研发项目[7]，旨在开展提高采收率的基础理论研究，以及配套应用技术开发，提高油气采收率（EOR）以最大限度地获取油气储量，延长油气田寿命，进一步扩大美国常规和非常规油气资源经济价值，促进美国能源独立。本次项目资助将主要关注“提高采收率（EOR）的先进技术”和“非常规油气资源采收技术”两大技术主题，前者主要目的在于降低 EOR 相关技术风险并扩大提高 EOR 技术部署规模，

[7] Department of Energy Announces $88 Million for Oil and Natural Gas Recovery Research. https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-88-million-oil-and-natural-gas-recovery-research

后者致力于完善常规油气储层全面表征技术和有效评价，增加采收效果。具体内容参见表 1。

表 1 提高油气采收率两大主题项目具体内容

资助机会	子领域
提高采收率先进技术	•开发 EOR 新方法、技术或工艺，以提升应用 EOR 技术油气田的采收率，同时对 EOR 方法、工具或技术进行现场验证 •开发新的 EOR 方法、工具或工艺，用于未经测试的储层，或已完成一次和/或二次开采储层 •通过提高行业对页岩油气采收基本过程的理解，以及验证 EOR 技术用于非常规储层的潜力，提高非常规油气藏 EOR 技术的效益
非常规油气资源先进采收技术	•创新和突破性技术，用于改进对非常规油气储层地下特征描述、可视化和诊断 •部署先进传感器用于监测油气井性能数据，以填补大数据分析和机器学习的关键数据空白 •新的资源开发方法，显著提高排水量、油气采收效率 •开展基础数据收集和分析、最佳资源开发技术、基础设施需求和可用性调查，提高对非常规油气田的认识，评估其开发技术障碍，并开发和应用促进非常规油气田采收率的技术和方法

（岳芳 郭楷模）

ARPA-E 资助 1100 万美元支持 OPEN+第四、五批研究项目

1 月 15 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布为 “OPEN+”开放式招标群组资助子计划的第四、第五批项目提供 1100 万美元资助[8]，主要聚焦“能源-水技术”和“生物能源及农业传感器应用技术”两大主题，前者主要目的在于开发工业（主要是石油和天然气）和城市废水的新型节能处理技术，后者主要研发超低能量分布式传感器，以提高农业生产效率和生物能源作物生存能力，降低农业的能源和水需求。具体内容参见表 2。

表 1 “OPEN+”群组子计划第四、五批资助项目具体内容

主题	具体内容	资助金额/万美元
能源-水技术	•在废水去除氮气的过程中产生洁净水，能够减少 60%的能源消耗和 80%的有机碳，该方法通过细菌处理和先进控制方法清洁水，可达到美国最严格的出水水质标准 •开发利用低品位太阳能或工业废热从水力压裂废水中提取清洁灌溉水的模块化便携式系统，比现有处理系统成本更低 •开发新型的零液体排放冷冻系统，以去除石油和天然气生产和压裂等工业过程产生的废水中的溶解盐。该方法通	520

[8] ARPA-E ANNOUNCES $11 MILLION FOR FOURTH, FIFTH OPEN+ COHORTS. https://www.arpa-e.energy.gov/?q=news-item/arpa-e-announces-11-million-fourth-fifth-open-cohorts

	过冷却冻结方法分离盐和水，消耗的能量更少，系统由低成本材料制成，在常压下运行，适用于高浓度及污染水	
生物能源及农业传感器应用技术	•开发一种低成本无线传感器，通过超声波（MHz 至 GHz）检测水含量、土壤化学物质、根系生长和线虫，使生物燃料作物生长中减少使用水和农药，并提高产量 •开发免维护传感器网络，通过监测植物含水量提高农业生产效率。该传感网络可获取、处理和传输现场数据以协助农业生产，在待机模式下完全不耗电 •开发 3D 打印且可生物降解的土壤传感器，有助于准确了解农作物的水和肥料需求，减少能源足迹和水消耗，并可增加土壤碳 •开发低功率传感器，可及时发现生物质作物生长过程中的侵入性杂草及昆虫，提高生产的整体能效	599

（岳芳）

DOE 资助 2500 万美元研发下一代海洋能转换装置

1 月 8 日，美国能源部（DOE）宣布资助 2500 万美元开展下一代海洋能转换装置研发[9]，旨在通过新概念海洋能源（如波浪、潮汐、海流和温差等）转换装置的研究、开发和示范，以降低海洋能源开发利用成本并缩短部署时间，提高海洋能源的经济性和竞争力。本次资助着重关注三大主题领域，包括：海洋能源能量转换系统原型开发、动力输出装置和控制系统的设计和试验、基于环境数据与分析改善海洋能源监管流程。具体内容参见表 1。

表 1 下一代海洋能源转换装置研发项目具体内容

主题	研究内容
海洋能源能量转换系统原型开发	•利用计算机仿真模拟引导新型波浪能转换器原型系统设计和开发 •设计和测试一种能够快速部署于海事传感器、监控和通信设备上的低功率波浪能转换器电源系统 •改进涡轮机设计，以增加功率，降低成本，并基于改进的涡轮机开发新型海洋能转换系统原型，进行现场测试验证 •针对海洋风筝发电系统开发综合数值模型，并利用该模型开发一个能够在开放水域进行试验的原型系统 •开发一个能够利用低速洋流的能量转换装置，将其作为海上移动电源

[9] U.S. Department of Energy Awards $25 Million for Next-Generation Marine Energy Research Projects. https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-awards-25-million-next-generation-marine-energy-research-projects

	为海上无人驾驶的船舶电池组充电
动力输出装置和控制系统的设计和试验	•设计开发可调谐的磁力弹簧，以实现对动力转换装置更大的功率可调性和可控性 •开发新型控制架构并整合到现有的动力输出装置，以改进性能和降低成本 •优化原型液压/电气系统，并在实验室环境中进行性能测试验证
基于环境数据与分析改善海洋能源监管流程	开发一个海洋能源环境许可工具包，内容包括空间规范、监管框架和信息数据库，为联邦和州政府的相关管理机构许可审批工作提供科学的信息，简化许可审批流程

（郭楷模）

前沿与装备

窄带隙锡铅复合钙钛矿太阳电池创下 19%转换效率记录

串联结构太阳电池（双结或者多结）为科学家提供了突破传统单结太阳电池效率极限（肖克利•奎伊瑟效率极限）途径，而锡-铅（Sn-Pb）复合窄带隙（1.2~1.3 eV，中等带隙一般为 1.6 eV 左右）的钙钛矿太阳电池具有更高的理论极限效率和合适的带隙宽度，成为串联电池的理想选择，但该类型电池效率一直不甚理想。美国托莱多大学 Yanfa Yan 教授团队通过对锡-铅复合钙钛矿晶界的钝化处理，增强电池性能，获得了超过 19%的光电转换效率，创造了窄带隙钙钛矿电池效率记录。研究人员首先利用旋涂法在导电玻璃衬底上制备了 Sb-Pb 混合钙钛矿薄膜$(FASnI_3)_{0.6}(MAPbI_3)_{0.4}$和纯铅钙钛矿薄膜 $FA_{0.3}MA_{0.7}PbI_3$，通过对紫外可见光谱测试结果计算得出该复合钙钛矿薄膜的带隙宽度仅为 1.27 eV，显著小于常规的纯铅钙钛矿（1.45 eV 左右）。随后以该 Sn-Pb 复合钙钛矿薄膜为光敏层组装出一个完整的电池器件，并进行一系列性能测试。暗电流（J_0）测试结果显示，窄带隙 Sn-Pn 复合钙钛矿电池的暗电流（10^{-5} mA/cm^2）比纯铅的电池器件高出了 5 个数量级（10^{-11} mA/cm^2）；导电原子力显微镜表征显示 J_0 主要分布在钙钛矿晶界处，主要是该处的缺陷态较多导致载流子复合较为严重。为了减少晶界的缺陷态密度，研究人员通过部分替代掺杂引入溴原子对 Sn-Pb 复合钙钛矿薄膜进行钝化处理，形成$(FASnI_3)_{0.6}(MAPbI_3)_{0.4-x}(MAPbBr_3)_x$复合薄膜。暗电流和导电原子力显微镜测试显示，基于 Br 掺杂的 Sb-Pn 复合钙钛矿薄膜电池的暗电流大幅下降近 3-4 个数量级，且主要来自晶界处的减少。对掺杂的 Br 浓度进行系统研究发现，Br 浓度增大暗电流减少，但是掺杂浓度太大反而会减少光电流，因此通过优化，将 Br 掺杂浓度控制在最佳比例。光电性能测试显示，无 Br 掺杂的 Sn-Pb 复合钙钛矿电池的开路电压为 0.847 V，光电转换效率为 17%；而 Br 掺杂的电池开路电压增大到了 0.881 V，转换效率突破 19%，是迄今为止窄带隙钙钛矿太阳电池效率的最高值。该项研究通过对窄带隙的 Sb-Pn 复合钙钛矿进行 Br

原子的部分替代掺杂，对薄膜晶界进行了钝化处理，有效地减少缺陷态抑制了暗电流，增强了电池性能，效率超过了 19%，创造了该类电池转换效率的新记录，为串联电池的底电池（窄带隙负责吸收远红外波段太阳光）组件提供了理想选择，有助于突破肖克利•奎伊瑟效率极限。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》[10]。

（郭楷模）

基于菲醌大环化合物正极铝离子电池实现高效稳定运行

铝是地壳中储量最为丰富的金属元素（8.1wt%），并且由于存在多种氧化还原状态，使其具有极高的理论体积比容量（8056 mAh cm^{-3}），是目前所有金属中最高的，因此可充电的铝离子电池被认为是未来极具发展潜力的新型电力储能系统，其实用化的关键是找到合适的正极材料。由韩国首尔大学 Jang Wook Choi 教授牵头的国际联合研究团队设计合成了一种具有氧化还原活性的基于菲-醌（PQ）的三角形大环化合物（PQ-Δ），呈现出独特的层状超结构，具备了充足的铝离子存储空间，将其作为铝离子电池正极，实现了阳离子铝络合物的高效可逆嵌入和脱嵌，从而显著增强了电池性能和循环寿命。要想实现铝离子（目前都是以铝络合物离子形式，通常为 $AlCl_4^-$）的高效嵌入和脱嵌就要求正极材料具有容纳离子大小的空间。为此研究人员设计利用化学合成方法制备了一种基于 PQ 单体（PQ-Ref）的三角形大环化合物 PQ-Δ，同时还合成了线性 PQ 三聚体（PQ-Lin）来对比研究不同化合物结构对材料性能影响。在 0.7-1.75 V 电压区间对 PQ-Ref、PQ-Δ 和 PQ-Lin 三种铝电池正极进行了一系列电化学测试。循环伏安测试表明它们都分别在 1.3 V 和 1.5 V 附近处有一对可逆的还原峰和氧化峰，意味着三种电极都具备良好的氧化还原能力。在 0.2 A/g 的电流密度下恒电流表征显示，PQ-Δ 的比容量为 94 mA h/g，远高于 PQ-Ref（26 mAh/g）和 PQ-Lin（38 mA h/g）。而在 200 次循环后，PQ-Δ 的比容量依旧可高达 82 mAh/g，表现出良好的容量保持特性，且同样远高于 PQ-Ref（13 mAh/g）和 PQ-Lin（17 mAh/g）。将电流密度提高 50 倍到 10 A/g 时，依旧可以获得 70 mAh/g 放电比容量，表现出优秀的倍率性能，主要原因是 PQ-Δ 的 π-π 堆叠超结构提供了铝络合离子快速嵌入和脱嵌通道。并且 2 A/g 电流密度下循环 5000 次后，依旧可获得 53 mAh/g 放电比容量，单次循环衰减率仅为 0.0082%，展现了出色的循环稳定性。接着研究人员利用非原位的多晶 X 射线衍射和透射电镜，发现 PQ-Δ 正极材料中发生离子嵌入和脱嵌的是 $AlCl_2^+$，并非常规的 $AlCl_4^+$，从而避免消耗大量电解液，有助于电池能量密度的提升。为了改善电极的导电性，研究人员进一步将 PQ-Δ 与石墨混合形

[10] Chongwen Li, Zhaoning Song, Dewei Zhao, et al. Reducing Saturation−Current Density to Realize High Efficiency Low Bandgap Mixed Tin–Lead Halide Perovskite Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 2018, DOI: 10.1002/aenm.201803135

成 PQ-Δ-HY 复合电极，在 0.2 A/g 的电流密度下进行电化学性能测试，结果显示 PQ-Δ-HY 初始放电比容量比 PQ-Δ 更高，达到 130 mAh/g，且循环 500 次后仍然保持 94%的初始容量，表现出优秀循环稳定性。该项研究精心设计制备了一种基于氧化还原特性的菲-醌三角形大环化合物，利用层状超结构，从而实现铝离子络合物高效可逆地嵌入和脱嵌，同时用石墨片改善有机化合物电极固有的低电子传导性和有限区域负载，使阴离子和阳离子的双极存储能够增加比容量，为开发可替代锂电池的新型高效下一代电池储能技术提供了全新的方案。相关研究工作发表在《*Nature Energy*》[11]。

（周斌 郭楷模）

原位表征揭露铱单原子催化剂氧化 CO 反应机理

低温一氧化碳（CO）催化氧化反应是非常基础且具有现实重要性的一个典型反应，其可应用于环保领域如汽车尾气处理、以及去除燃料电池氢气中的一氧化碳以及许多其它的工业过程中。然而，目前科学界对单原子催化 CO 氧化反应的机理尚不明确，对单原子催化剂性能是否比纳米催化剂性能更加优异也尚无一致观点，因此研究和揭示单原子催化反应机理意义重大。弗吉尼亚理工大学 Ayman Karim 教授研究团队联合美国国家加速器实验室研究人员利用原位红外（IR）光谱、原位高能分辨荧光检测 X 射线吸收光谱（HERFD-XAS）表征技术，并结合密度泛函理论计算，精确检测到负载型单原子铱（Ir）催化剂在 CO 催化氧化反应过程中的活性态和稳定态结构，揭露了 Ir 单原子催化剂反应机理。为了制备均匀分散的单原子催化剂，一般需要相应的载体，研究人员选择尖晶石结构的镁铝氧化物 $MgAl_2O_4$ 作为载体，因为 $MgAl_2O_4$ 对贵金属原子具有良好的分散和稳定作用（防止烧结过程形成团簇）。选择 Ir 作为催化剂，是因为 Ir 纳米颗粒具有与 Pt 相似的 CO 氧化催化性质，并且 Ir 单原子能被 HERFD-XAS 和吸附 CO 的红外光谱表征。为了对比研究，研究人员同时制备了负载型的单原子催化剂 $Ir/MgAl_2O_4$ SAC 纳米颗粒催化剂 $Ir/MgAl_2O_4$，在 155℃下测量不同催化剂的 CO 催化氧化的效能影响。铱纳米颗粒催化剂 $Ir/MgAl_2O_4$ 的 CO 和 O_2 测得的反应级数分别为−1 和 0.9，这与已有文献报道的 Ir、Pt、纳米颗粒的反应级数相一致，主要是 CO 覆盖住了金属纳米颗粒的表面，限制了 O_2 活性，导致反应进行缓慢；相反，在 $Ir/MgAl_2O_4$ SAC 单原子催化剂上，相同条件下测得的 CO 和 O_2 反应级数分别为 0.9 和 0.1，接近 1 的 CO 反应级数表明 CO 没有完全覆盖单原子 $Ir/MgAl_2O_4$ SAC 催化剂，而接近 0 的 O_2 反应级数表明 O_2 可以在单原子 Ir 上迅速活化。$Ir/MgAl_2O_4$ SAC 单原子在高 CO 浓度下展现出更强的催化活性，比纳米颗粒 $Ir/MgAl_2O_4$ 催化剂高约 7 倍。进而使用原位 IR 光谱和 HERFD-XANES 表征单原子

[11] Dong Jun Kim, Dong-Joo Yoo, Michael T. Otley, et al. Rechargeable aluminium organic batteries. *Nature Energy*, 2018，DOI: 10.1038/s41560-018-0291-0

催化剂的 CO 吸附反应过程，结果显示吸附 CO 的复合物 Ir（CO）在通氧气的情况下会被部分氧化形成 Ir（CO）（O）复合物，Ir（CO）通 CO 情况下可以转化为 Ir（CO）$_2$，并在通 CO+O_2 后转化回 Ir（CO）（O），表明了 Ir（CO）（O）是反应条件下的最稳定结构/中间产物，而 Ir（CO）是反应过程中的活化态结构。DFT 结果表明单原子在促进 O_2 活化中起关键作用，由于单个原子有着与多个配体配位的能力，其中 Ir（CO）为 Ir 和 Al 之间的 O_2 活化提供了催化位点，从而降低了 Ir（CO）（O）中气相*CO 和*O 之间的反应势垒，促进了 CO 氧化的进行。该项研究利用原位红外、原位高能分辨荧光检测 X 射线吸收光谱实现了对 Ir 单原子催化剂催化活性的原子尺度的研究，揭示了负载型单原子铱催化剂独特的催化反应机理，为指导高效单原子催化剂设计合成积累了坚实的理论知识。相关研究工作发表在《*Nature Catalysis*》[12] 。

（刘竞 郭楷模）

双功能 Co 掺杂 SnS_2 复合物有效抑制锂硫电池穿梭效应

锂硫电池的理论比能量可达 2600 Wh kg^{-1}，是商用锂离子电池的 3-5 倍，是极具应用前景的新一代储能器件。然而低载硫量和聚硫化物穿梭效引起的电池循环能力和容量迅速衰减，成为了锂硫电池商业化应用的一大障碍。由加拿大西安大略大学的 Xueliang Sun 教授牵头的联合研究团队将钴（Co）掺杂的二硫化锡（SnS_2）锚定在氮（N）掺杂的碳纳米管 NCNT 基底上作为硫正极载体，利用 SnS_2 增加载硫量和 Co 催化的协同效应，有效地抑制穿梭效应和提高内转化动力学行为，从而增强了电池放电比容量和循环寿命。研究人员首先采用喷雾热解化学沉积方法制备了 N 掺杂的碳纳米管 NCNT，扫描电镜（SEM）表征显示该产物为典型的管状结构，平均直径为 20-50nm；接着通过溶剂热方法在 NCNT 上生长一层 Co 掺杂的 SnS_2，形成了 NCNT@Co-SnS_2 复合物，SEM 测试显示管状 NCNT 上负载了均匀分布的纳米片，即 Co-SnS_2 为两维纳米片形貌。这种新型的复合结构一方面能够利用 SnS_2 进行限流抑制聚硫化物穿梭，还能够利用 Co 的高效催化性能提高聚硫化物的分解转化速率，因此是理想的电极载体。随后研究人员以 NCNT@Co-SnS_2 为载体制备了硫正极 S/NCNT@Co-SnS_2，并同时制备了无 Co 掺杂的 S 正极 S/NCNT@SnS_2 用于对比研究。循环伏安测试结果显示，S/NCNT@Co-SnS_2 具备更快的内转化动力学，即具备更快的聚硫化物的分解转化速度，有助于抑制穿梭效应。在同样的载硫量（3 mg cm^{-2}）和放电电流密度（1.3 mA cm^{-2}）下进行恒电流充放电循环测试，结果显示基于 S/NCNT@Co-SnS_2 正极电池初始的放电比容量高达 1337.1 mAh g^{-1}，远高于无 Co 掺杂的正极 S/NCNT@SnS_2 的初始比容量（1074.7 mAh g^{-1}），表明 S/NCNT@Co-SnS_2

[12] Yubing Lu, Jiamin Wang, Liang Yu, et al. Identification of the Active Complex for CO Oxidation over Single Atom Ir-on-MgAl2O4 Catalysts. *Nature Catalysis*, 2018, DOI:10.1038/s41929-018-0192-4

正极具有更加高效的硫利用率。对初次循环后的两个电极进行 SEM 电镜表征发现，S/NCNT@Co-SnS_2 正极依然保持其多孔特性，相反无 Co 的 S/NCNT@SnS_2 正极表面的孔洞很大部分被放电中间产物堵塞，表明 Co 催化剂确实很好地促进了放电中间产物的分解和转化。且经过 100 次循环后，S/NCNT@Co-SnS_2 正极仍可获得高达 1000.4 mAh g^{-1} 的放电比容量，比经历同样测试条件的无 Co 正极放电比容量（843 mAh g-1）高出 20%；并且当进一步提升放电电流到 3.2 mA cm^{-2}，并经过 300 多次循环后，S/NCNT@Co-SnS_2 正极电池仍展现出较高的放电比容量（562 mAh g^{-1}），平均单次循环的容量衰减仅为 0.16%，即电池不仅具备优异倍率性能，还拥有极其优秀的循环稳定性。该项研究通过精心设计在 N 掺杂的碳纳米管 NCNT 均匀生长一层 Co 掺杂的 SnS_2 纳米片形成 NCNT@Co-SnS_2，作为正极载体应用于锂硫电池中，显著改善了放电中间产物的分解和转化，有效抑制多硫聚物的“穿梭效应”，增强了电池的倍率性能和循环稳定性，为设计和开发高性能的锂硫电池提供了一种新的研究思路。相关研究工作发表在《*Advanced Functional Materials*》[13]。

（郭楷模）

[13] Xuejie Gao, Xiaofei Yang, Minsi Liet al. Cobalt−Doped SnS_2 with Dual Active Centers of Synergistic Absorption−Catalysis Effect for High-S Loading Li-S Batteries. *Advanced Functional Materials*, 2019, DOI:10.1002/adfm.201806724

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心是服务国家和中科院能源决策管理、科技创新、产业发展的专业情报研究机构，历年来承担和参与了多项国家级、中科院、省部级能源科技战略规划和重要科技计划研究。中心的主要产品包括《先进能源发展报告》、《先进能源动态监测快报》（半月刊）、《能源与科技参考》及各类深度能源情报研究分析报告，主要研究方向包括能源科技领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大成果工程应用、重要科技政策与管理研究。

研究内容		特色产品
战略规划研究	开展科技政策与科研管理、发展战略与规划研究等相关服务，为科技决策机构和管理部门提供信息支撑。	先进能源发展报告：科技引领能源 国际能源战略与新能源技术进展 金融危机背景下的能源战略 世界能源强国能源科技创新体系分析报告 美国能源科技计划管理机制及启示 ……
领域态势分析	开展特定领域或专题的发展动态调研与跟踪、发展趋势研究与分析，为研究机构、企业的科研项目提供情报服务。	核电技术国际发展态势分析报告 太阳能热发电技术国际发展态势分析报告 智能电网国际发展态势分析报告 规模化电力储能技术国际发展态势分析报告 高端洁净煤发电技术国际发展态势分析报告 ……
技术路线研究	开展产品、成果、专利或标准的情报研究，分析相关行业的现状及发展趋势，为企业发展与决策提供参考。	国际能源领域技术路线图解析 低阶煤热解/气化/循环流化床专利态势分析 新型煤气化技术发展报告 太阳能技术新突破：钙钛矿太阳电池 我国能源互联网发展重要战略问题研究 ……

编辑出版：中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心
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
电话：（027）87199180
电子邮件：energy@whlib.ac.cn
微信公众号：CASEnergy