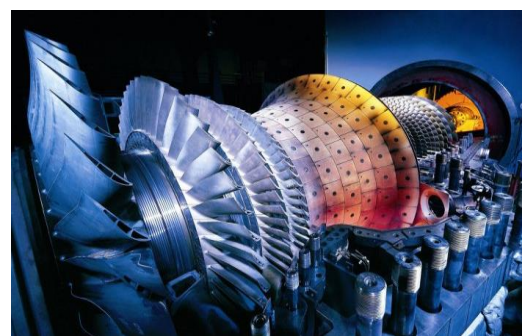


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 日本《绿色增长战略》提出 2050 碳中和发展路线图
- 全球铀资源足以满足百年需求 但投资不足导致产能受限
- 伍德麦肯兹预测 2021 年全球能源十大趋势
- 德国投入 7 亿欧元支持 3 个绿氢旗舰研究项目
- 聚合物钝化显著提升填充因子增强钙钛矿太阳电池性能

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

日本《绿色增长战略》提出 2050 碳中和发展路线图 2
全球铀资源足以满足百年需求 但投资不足导致产能受限 5
伍德麦肯兹预测 2021 年全球能源十大趋势 8

项目计划

德国投入 7 亿欧元支持 3 个绿氢旗舰研究项目 10
ARPA-E 资助 4700 万美元支持变革性能源技术研发 11
西门子投入 1.2 亿欧元布局海上风电制氢 13

前沿与装备

聚合物钝化显著提升填充因子增强钙钛矿太阳能电池性能 13
天然辣椒素添加剂助力 MAPbI₃ 薄膜平面型钙钛矿电池创效率纪录... 14
同步辐射 X 射线层析成像技术揭示固态电池界面动态演化 15

本期概要

日本经济产业省发布《绿色增长战略》，提出到 2050 年实现碳中和目标，构建“零碳社会”：预计到 2050 年，该战略每年将为日本创造近 2 万亿美元的经济增长。为落实上述目标，该战略针对 14 个产业提出了具体的发展目标和重点发展任务，主要包括海上风电，氨燃料，氢能，核能，汽车和动力电池，半导体和通信，船舶，交通物流和建筑，食品、农林和水产，航空，碳循环，下一代住宅、商业建筑和太阳能，资源循环，生活方式等。

经合组织核能署（OECD-NEA）和国际原子能机构（IAEA）联合发布《铀资源、生产与需求 2020》报告，提供了世界铀工业最新统计概况：截至 2019 年 1 月 1 日，已探明的常规铀资源（包括可靠资源和推断资源）中，开采成本低于 130 美元/kgU 资源量为 614.8 万吨，高开采成本（低于 260 美元/kgU）的铀资源估计有 807.0 万吨。未探明的常规铀资源总量为 722.0 万吨。2019 年，全球铀产量小幅增长至 5.4 万吨，主要原因是澳大利亚、哈萨克斯坦和尼日尔的产量增长。考虑到截至 2019 年 1 月 1 日的铀需求，已探明可开采资源足以满足全球 135 年以上的需求，但需要大量的投资和技术才能将这些资源推向市场。

咨询公司伍德麦肯兹发布观点文章，分析预测了 2021 年全球能源市场十大发展趋势。（1）2021 年强劲的石油需求增长将推高油价；（2）油气上游行业将再经历一年的低迷期；（3）油气企业将加速向低碳能源多样化发展；（4）更多企业将设定减排目标；（5）美国致密油行业将达成轰动性的企业合并；（6）太阳能电力购买协议价格将再创新低；（7）全球电动汽车销量将接近 400 万辆；（8）更多政府将向能源转型关键供应链投资；（9）中国禁止从澳大利亚进口煤炭的禁令将持续一整年；（10）拜登政府将在气候政策上小心谨慎。

德国联邦教研部（BMBF）宣布从 2021 年开始持续 4 年，总投入 7 亿欧元支持 3 个绿氢旗舰项目，以开发先进绿氢技术，消除绿氢大规模部署的障碍，推进国家氢能战略的实施，包括：（1）开发大规模、高性能制氢电解槽，并实现批量生产；（2）开发直接利用海上风电生产氢气及副产品（甲烷、甲醇、氨、燃料等）的解决方案，无需连接电网，以最大限度降低氢气生产成本；（3）开发并测试短、中、长距离运输氢气的解决方案，以促进建立高效氢经济。

美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布在“有应用潜力的领先能源技术种子孵化”主题研发计划框架下资助 4700 万美元，旨在支持具有潜在颠覆性影响的变革性能源技术研发，课题包括：下一代锂金属负极电池，8 英寸 3D 氮化镓（GaN）场效应晶体管制备技术，大容量硅负极技术，电网现代化技术，油气排放监测网络，高度可扩展虚拟电厂平台，聚合物电解质制造工艺等。

澳大利亚国立大学 Thomas P. White 教授课题组牵头的国际联合研究团队巧妙设计了一种纳米图案的电子传输层，提供有效的钝化和出色的电荷提取，开路电压和填充因子同时得到了改善：研究人员精心设计制备纳米杆阵列的电子传输层，以克服聚合物钝化层导电性较差引起的载流子抽取效率不佳问题，同时避免其与钙钛矿大面积接触的界面复合损失，在保障电池开路电压前提下显著提升了填充因子，同时辅以疏水性无掺杂的空穴传输材料，获得了高达 84% 的填充因子和 21.6% 的认证光电转换效率，更为关键的是器件表现出优异的长程稳定性，为设计开发高效长寿命钙钛矿太阳电池指明了新方向。

日本《绿色增长战略》提出 2050 碳中和发展路线图

12月25日，日本经济产业省发布了《绿色增长战略》¹，确定了日本到2050年实现碳中和目标，构建“零碳社会”，以此来促进日本经济的持续复苏，预计到2050年该战略每年将为日本创造近2万亿美元的经济增长。为了落实上述战略目标，战略针对包括海上风电、燃料电池、氢能等在内的14个产业提出了具体的发展目标和重点发展任务，详细内容如下：

1、海上风电产业

发展目标：到2030年安装10GW海上风电装机容量，到2040年达到30-45GW，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内采购率提升到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，减少对外国零部件的进口依赖。

2、氨燃料产业

发展目标：计划到2030年，实现氨作为混合燃料在火力发电厂的使用率达到20%，并在东南亚市场进行市场开发，计划吸引5000亿日元投资；到2050年实现纯氨燃料发电。

重点任务：开展混合氨燃料/纯氨燃料的发电技术实证研究；围绕混合氨燃料发电技术，在东南亚市场进行市场开发，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、氢能产业

发展目标：到2030年将年度氢能供应量增加到300万吨，到2050年达到2000万吨。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；开展燃氢轮机发电技术示范；推进氢还原炼铁工艺技术开发；研发废弃塑料制备氢气技术；新型高性能低成本燃料电池技术研发；开展长距离远洋氢气运输示范，参与氢气输运技术国际标准制定；推进可再生能源制氢技术的规模化应用；开发电解制氢用的大型电解槽；开发高温热解制氢技术研发和示范。

¹ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>

4、核能产业

发展目标：到 2030 年争取成为小型模块化反应堆（SMR）全球主要供应商，到 2050 年将相关业务拓展到全球主要的市场地区（包括亚洲、非洲、东欧等）；到 2050 年将利用高温气冷堆过程热制氢的成本降至 12 日元/立方米；在 2040-2050 年间开展聚变示范堆建造和运行。

重点任务：积极参与 SMR 国际合作（如参与技术开发、项目示范、标准制定等），融入国际 SMR 产业链；开展利用高温气冷堆高温热能进行热解制氢的技术研究和示范；继续积极参与国际热核聚变反应堆计划（ITER），学习先进的技术和经验，同时利用国内的 JT-60SA 聚变设施开展自主聚变研究，为最终的聚变能商用奠定基础。

5、汽车和动力电池产业

发展目标：到 21 世纪 30 年代中期时，实现新车销量全部转变为纯电动汽车（EV）和混合动力汽车（HV）的目标，实现汽车全生命周期的碳中和目标；到 2050 年将替代燃料的经济性降到比传统燃油车价格还低的水平。

重点任务：制定更加严格的车辆能效和燃油指标；加大电动汽车公共采购规模；扩大充电基础设施部署；出台燃油车换购电动汽车补贴措施；大力推进电化学电池、燃料电池和电驱动系统技术等领域的研发和供应链的构建；利用先进的通信技术发展网联自动驾驶汽车；推进碳中和替代燃料的研发降低成本；开发性能更优异但成本更低廉的新型电池技术。

6、半导体和通信产业

发展目标：将数据中心市场规模从 2019 年的 1.5 万亿日元提升到 2030 年的 3.3 万亿日元，届时实现将数据中心的能耗降低 30%；到 2030 年半导体市场规模扩大到 1.7 万亿日元；2040 年实现半导体和通信产业的碳中和目标。

重点任务：扩大可再生能源电力在数据中心的应用，打造绿色数据中心；开发下一代云软件、云平台以替代现有的基于半导体的实体软件和平台；开展下一代先进的低功耗半导体器件（如 GaN、SiC 等）及其封装技术研发，并开展生产线示范。

7、船舶产业

发展目标：在 2025-2030 年间开始实现零排放船舶的商用，到 2050 年将现有传统燃料船舶全部转化为氢、氨、液化天然气（LNG）等低碳燃料动力船舶。

重点任务：促进面向近距离、小型船只使用的氢燃料电池系统和电推进系统的研发和普及；推进面向远距离、大型船只使用的氢、氨燃料发动机以及附带的燃料罐、燃料供给系统的开发和实用化进程；积极参与国际海事组织（IMO）主导的船舶燃料性能指标修订工作，以减少外来船舶 CO₂ 排放；提升 LNG 燃料船舶的运输能力，提升运输效率。

8、交通物流和建筑产业

发展目标：到 2050 年实现交通、物流和建筑行业的碳中和目标。

重点任务：制定碳中和港口的规范指南，在全日本范围内布局碳中和港口；推进交通电气化、自动化发展，优化交通运输效率，减少排放；鼓励民众使用绿色交通工具（如自行车），打造绿色出行；在物流行业中引入智能机器人、可再生能源和节能系统，打造绿色物流系统；推进公共基础设施（如路灯、充电桩等）节能技术开发和部署；推进建筑施工过程中的节能减排，如利用低碳燃料替代传统的柴油应用于各类建筑机械设施中，制定更加严格的燃烧排放标准等。

9、食品、农林和水产产业

发展目标：打造智慧农业、林业和渔业，发展陆地和海洋的碳封存技术，助力 2050 碳中和目标实现。

重点任务：在食品、农林和水产产业中部署先进的低碳燃料用于生产电力和能源管理系统；智慧食品供应链的基础技术开发和示范；智慧食品连锁店的大规模部署；积极推进各类碳封存技术（如生物固碳），实现农田、森林、海洋中 CO₂ 的长期、大量贮存。

10、航空产业

发展目标：推动航空电气化、绿色化发展，到 2030 年左右实现电动飞机商用，到 2035 年左右实现氢动力飞机的商用，到 2050 年航空业全面实现电气化，碳排放较 2005 年减少一半。

重点任务：开发先进的轻量化材料；开展混合动力飞机和纯电动飞机的技术研发、示范和部署；开展氢动力飞机技术研发、示范和部署；研发先进低成本、低排放的生物喷气燃料；发展回收 CO₂，并利用其与氢气合成航空燃料技术；加强与欧美厂商合作，参与电动航空的国际标准制定。

11、碳循环产业

发展目标：发展碳回收和资源化利用技术，到 2030 年实现 CO₂ 回收制燃料的价格与传统喷气燃料相当，到 2050 年 CO₂ 制塑料实现与现有的塑料制品价格相同的目标。

重点任务：发展将 CO₂ 封存进混凝土技术；发展 CO₂ 氧化还原制燃料技术，实现 2030 年 100 日元/升目标；发展 CO₂ 还原制备高价值化学品技术，到 2050 年实现与现有塑料相当的价格竞争力；研发先进高效低成本的 CO₂ 分离和回收技术，到 2050 年实现大气中直接回收 CO₂ 技术的商用。

12、下一代住宅、商业建筑和太阳能产业

发展目标：到 2050 年实现住宅和商业建筑的净零排放。

重点任务：针对下一代住宅和商业建筑制定相应的用能、节能规则制度；利用

大数据、人工智能、物联网（IoT）等技术实现对住宅和商业建筑用能的智慧化管理；建造零排放住宅和商业建筑；先进的节能建筑材料开发；加快包括钙钛矿太阳能电池在内的具有发展前景的下一代太阳能电池技术研发、示范和部署；加大太阳能建筑的部署规模，推进太阳能建筑一体化发展。

13、资源循环产业

发展目标：到 2050 年实现资源产业的净零排放。

重点任务：发展各类资源回收再利用技术（如废物发电、废热利用、生物沼气发电等）；通过制定法律和计划来促进资源回收再利用技术开发和社会普及；开发可回收利用的材料和再利用技术；优化资源回收技术和方案降低成本。

14、生活方式相关产业

发展目标：到 2050 年实现碳中和生活方式。

重点任务：普及零排放建筑和住宅；部署先进智慧能源管理系统；利用数字化技术发展共享交通（如共享汽车），推动人们出行方式转变。

（郭楷模）

全球铀资源足以满足百年需求 但投资不足导致产能受限

12 月 23 日，经合组织核能署（OECD-NEA）和国际原子能机构（IAEA）联合发布了《铀资源、生产与需求 2020》报告²，对全球铀市场的基本面进行了最新分析，提供了截至 2019 年 1 月 1 日世界铀工业的统计概况。报告包含 31 个国家官方数据以及关于铀矿资源、勘探、生产和反应堆相关需求的国家报告数据，对到 2040 年核电装机容量和反应堆相关铀需求进行了预测。主要内容如下：

1、铀资源

总体而言，全球已探明的铀资源有所增加，但增幅较小，较 2017 年已探明的资源总量仅小幅增加 1%。虽然这些增量中的一部分与新发现有关（例如加拿大新发现的铀矿资源），但大部分来自对先前探明的铀资源的重新评估。

截至 2019 年 1 月 1 日，已探明的常规铀资源（包括可靠资源和推断资源）中，开采成本低于 130 美元/kgU 资源量为 614.8 万吨，较 2017 年小幅增长 0.1%。高开采成本（低于 260 美元/kgU）的铀资源估计有 807.0 万吨，较前一报告增加了 1%。所有开采成本类别的可靠资源量都有所变化。其中变化最显著的是开采成本低于 80 美元/kgU 类别，与 2017 年相比下降了 2.8%；开采成本低于 40 美元/kgU 类别，较 2017 年增加了 4.4%。上述变化主要由澳大利亚、中国、纳米比亚等国的铀资源枯竭或铀资源重新评估以及加拿大和哈萨克斯坦新探明铀矿所致。相比之下，开发成本低于 260 美元/kgU 的推断资源，从 2017 年的 317.3 万吨增加到 2019 年的 334.6 万

² Uranium 2020: Resources, Production and Demand. https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-12/7555_uranium_-_resources_production_and_demand_2020__web.pdf

吨，增长 5.5%，主要归因于铀资源的重新评估，其中澳大利亚、哈萨克斯坦、蒙古和尼日尔增长最为明显。

截至 2019 年 1 月 1 日，未探明的常规铀资源总量为 722.0 万吨，比上一版本年报告中的 753.0 万吨减少 4%。非常规铀资源是未来潜在供应的另一个来源，目前已经超过 3900 万吨。值得注意的是，在某些情况下，包括拥有大量探明铀资源的主要生产国并没有报告未探明的铀资源估计量，或估计量已经几年没有更新。

2、铀矿勘探

自 2011 年年中以来，由于铀市场持续低迷，铀市场价格走低，导致总支出持续下降。其中，全球国内铀勘探和开采支出从 2014 年的 20 多亿美元下降到 2018 年的 5 亿美元左右，非国内铀勘探和开采支出下降至 2018 年不到 7000 万美元。2018 年报告的全球勘探和开采总支出较 2012 年下降 75%。许多国家的支出都在减少，主要是由于铀价持续低迷，这已导致多个勘探和开采项目放缓。

2016-2018 年间，全球铀勘探和开采的三年支出总额为 18 亿美元，在支出国家排行中，加拿大支出最多，随后依次是中国、印度、美国和哈萨克斯坦，其中加拿大一国的支出就超过其余四国的支出之和。

3、铀生产

2018 年，全球有 16 个国家开展了铀生产活动，总产量达 5.3 万吨。2019 年，全球铀产量小幅增长至 5.4 万吨，主要原因是澳大利亚、哈萨克斯坦和尼日尔的产量增长。受市场持续疲软影响，哈萨克斯坦铀产量于 2017 年停止增长。尽管如此，哈萨克斯坦依然是全球最大的铀生产国，2018 年其铀产量达到 2.2 万吨，超过当年排名第二、第三和第四产铀国加拿大、澳大利亚和纳米比亚总产量之和。原位浸出（ISL，有时称为原位回收或 ISR）生产继续主导全球铀生产，占 2018 年世界产量的 50% 以上，占 2019 年的近 57%。

总体而言，世界铀产量从 2016 年的 6.3 万吨下降到 2017 年的 6.0 万吨，下降了 4.6%，2018 年全球铀产量进一步下降至 5.3 万吨，主要归因于全球铀市场疲软抑制了包括加拿大、哈萨克斯坦和尼日尔在内的主要产铀国产量。

由于 2020 年新冠疫情的爆发和全球蔓延，全球铀产量进一步被抑制。2020 年 3 月，加拿大宣布暂停雪茄湖矿和麦卡琳湖矿的生产活动。哈萨克斯坦 4 月初也宣布将减少所有铀矿的运营活动。疫情还对其他国家如澳大利亚、纳米比亚或南非的采矿作业造成限制。8 月，其中一些限制开始放宽，一些生产商逐渐复产。但受到上述计划外减产的影响，实现 2020 年全球的铀生产目标面临严峻挑战。

4、铀需求预测

展望未来，随着全球能源需求的增加，以及清洁能源转型推进，核电装机容量将大幅增长，从而促使铀的需求增长，但各地区的情况有所不同，预计东亚地区年

度铀需求最大。

截至 2019 年 1 月 1 日，全球共有 450 个商业核反应堆并网，净装机容量为 396 GWe，每年需要消耗 5.9 万吨铀。考虑到若干国家宣布的政策变化和修订的核能发展计划，报告预计到 2040 年，在低需求量情景下世界核电装机容量将减少到 354 GWe，在高需求量情景下则增加到 626 GWe，分别较 2018 年下降 11%和增长 58%。因此，到 2035 年世界核反应堆年度铀需求量（不包括混合氧化物燃料[MOX]）预计在 5.7-10.0 万吨之间。

不同地区的核电装机容量预测存在很大差异。东亚地区预计将经历最大的增长，到 2040 年低、高需求量情景下预计较 2018 年产能分别增加超过 24%和 138%。预计欧洲大陆非欧盟成员国的核电装机容量也将大幅增加，到 2040 年预计将增加到 66 GWe，较 2018 年增加约 50%。其他预计经历核电装机容量显著增长的地区包括中东、中亚和南亚，预计非洲、中南美洲和东南亚地区的增长将较为温和。对于北美洲，预计到 2040 年核能发电量在低需求情景和高需求情景下都将下降，这主要取决于未来的电力需求、现有核反应堆的寿命和政府关于温室气体排放的政策。美国几个反应堆由于经济损失导致其被过早关闭。在欧盟，如果维持现有政策，到 2040 年低需求情景下核电装机容量预计下降 52%，在高需求情景下预计下降 8%。

5、供需关系

目前已探明的铀资源足以满足到 2040 年高、低需求情景下的全球铀需求，但需要及时投资将资源转化为实际产能。满足到 2040 年的高需求将消耗 2019 年成本低于 80 美元/kgU 已探明可开采资源量的约 87%。全球铀市场仍然面临挑战，供应过剩和库存量高导致持续的定价压力。铀矿开采中还存在一些其他问题，例如地缘政治因素、技术挑战以及法律及监管框架等。

截至 2019 年 1 月 1 日，世界铀产量（6.2 万吨）满足了世界反应堆需求量的约 90%，而 2017 年全球初级铀产量满足了约 95%的需求，其余需求则是由二次铀资源提供，包括过剩的政府和商业库存、乏燃料后处理、供料不足贫铀尾矿再富集产生的铀，以及通过混合高浓缩铀（HEU）生产的低浓铀（LEU）。

在福岛第一核电站事故发生前，铀生产商对价格上涨的市场信号以及需求迅速增长的预测都会及时做出积极回应。然而，事故后铀市场价格持续走低，加上一些国家对核电发展的不确定性，一定程度上暂时降低了铀需求，导致价格进一步下跌，抑制了铀矿生产和开发活动。最近，铀现货价格在 2020 年春季出现暂时性大幅上扬（曾涨至约 88 美元/kgU），主要是新冠疫情导致铀矿停运进而导致大幅减产所致。应注意的是，由于电力公司和燃料循环生产商拥有大量库存，疫情引起的铀矿开采活动减少短期内不会造成核电反应堆运行中断。

在可预见的未来，如果按计划进行，预计原铀生产能力（包括现有、承诺、计

划和前瞻性生产)将满足到2040年的低铀需求和部分高铀需求。满足到2040年高铀需求的消耗量将不到2019年已探明铀资源总量的28%(开采成本低于130美元/kgU)。但在考虑成本较低的资源时,根据当前的市场价格,到2040年满足预计的高铀需求需要消耗约87%的成本为80美元/kgU已探明资源。尽管能够满足市场的铀需求,但仍然需要大量的投资和技术才能将这些资源推向市场。

报告最后总结,全球有足够的铀资源满足长期、可持续核能低碳发电,以及工业供热和制氢等其他应用领域的需求。考虑到截至2019年1月1日的铀需求,已探明可开采资源,包括开采成本低于260美元/kgU的可靠资源和推断资源,足以满足全球135年以上的需求。但需要及时足够的投资和技术创新才能将这些资源转化为可用于核燃料生产的精炼铀,促进核能部署规模的扩张。然而受到市场低迷以及新冠疫情冲击,铀矿产业可能面临着投资受限的严峻挑战,这将迫使该行业进一步优化其活动。

(汤匀 郭楷模)

伍德麦肯兹预测2021年全球能源十大趋势

12月18日,知名咨询公司伍德麦肯兹(Wood Mackenzie)发布观点文章³,分析预测了2021年全球能源市场十大发展趋势。预计2021年全球石油需求将大幅增长,但油气上游行业仍将持续低迷;更多企业将转向低碳发展,设定减排目标;美国致密油行业可能出现轰动性的企业合并;太阳能电力购买协议价格将再创新低,跌破13美元/兆瓦时;全球电动汽车销量预计同比增长74%;更多政府将入股能源转型关键资源供应链以确保供应安全;预计拜登政府将采取谨慎的气候政策。关键内容如下:

1、强劲的石油需求增长将推高油价

随着辉瑞公司的新冠疫苗于12月中旬在英国和美国逐步推行,疫情导致的停工停产将在2021年第一季度有所缓解。预计2021年全球石油需求将同比增加660万桶/天,扭转2020年全球石油需求减少近1000万桶/天的形势。中国2020年第四季度石油需求已经走强,高于2019年同期水平,预示着2021年全球石油需求量将同比大幅增长,这将缩小2021年下半年全球石油供需差距并支撑油价。

2、尽管油价上涨,油气上游行业将再经历一年的低迷期

预计2021年油气上游行业的投资水平将保持在3000亿美元左右。对项目的审批将越来越多地根据其环境、社会和治理资质来进行,预计2021年将批准20个左右大型项目(2020年仅有10来个),但这也仅达到新冠疫情爆发前的一半。油气项目将向低碳、低成本发展。

³ Ten predictions for energy in 2021. <https://www.woodmac.com/news/opinion/ten-predictions-for-energy-in-2021/>

3、油气企业将加速向低碳能源多样化发展

欧洲主要油气企业已经提出零碳增长的愿景，预计 2021 年将继续通过投资低碳技术，为净零排放转型奠定基础。美国政府换届、第 26 届联合国气候变化大会（COP26）以及利益相关方意愿的不断变化，都将为其他国际石油企业和国有石油公司带来更大压力。

4、更多企业将设定减排目标

有迹象表明，投资者应对气候变化的压力正在加大。2020 年 12 月，管理着 9 万亿美元资金的 30 名基金经理承诺将努力实现其投资组合到 2050 年实现净零排放，同时还承诺将设定 2030 年的中期目标，与将全球温升控制在 1.5°C 的趋势保持一致。2021 年年初，欧盟和英国监管机构将开始推动上市公司采纳气候相关财务信息披露工作组的建议，讨论其碳排放和气候风险。来自投资者和监管部门的共同压力将促使更多企业做出减排承诺，更多怀有长远志向的公司将会制定中期减排目标。

5、美国致密油行业将达成轰动性的企业合并

大规模整合所需的一切都已准备就绪。财务实力雄厚的企业可以利用其资金成本优势，而明智的合并交易可以降低维护资本，多样化合并将快速缓解致密油企业面临的风险。因此，预计 2021 年将达成一场巨额交易，给整个致密油市场带来冲击。如果原油市场不出现大的波动，将有两家大型企业合并。最近的一些交易文件显示，甚至有可能出现三家大企业的合并，预计 2021 年将有一家（或三家）知名企业退出市场。

6、太阳能电力购买协议价格将再创新低，跌破 13 美元/兆瓦时，且此次新低将不会出现在中东

太阳能电力购买协议价（PPA）通常每几个月出现一次暴跌，而在电力购买协议的 5 次最低价合同中，就有 4 次出现在中东。中东拥有廉价太阳能的有利条件：低资本成本、有承购保证、供应商权益以及充足的光照。阿拉伯联合酋长国创下了世界最低的太阳能 PPA 价格（13.5 美元/兆瓦时）。西班牙和智利将分别在 1 月和 5 月举办可再生能源拍卖活动，两国都具有完善的批发市场，可以吸引开发商积极投标，并保证批发商在 PPA 交易后的盈利。资产所有者将变得越来越老练，当太阳能成本下降且资产预期寿命增加时可能放弃完全签约的收益，转而接受部分或全部商业风险。

7、全球电动汽车销量将接近 400 万辆，较 2020 年增长 74%

为了缓解新冠疫情造成的经济影响，许多国家的刺激计划包括了增加对电动汽车的支持，2020 年通过的措施有望在 2021 年见效。中国将原定于 2020 年到期的补贴政策延长至 2022 年，一些欧盟国家增加了电动汽车补贴，美国新一任政府已承诺支持电动汽车产业，并且有望重新支持加利福尼亚州更严格的燃油经济性和汽车排

放标准，这将有助于促进电动汽车的销售。这些趋势都预示了 2021 年电动汽车销量将迎来大幅增长，但其销量仍将仅占全球汽车总销量的 5% 左右。

8、更多政府将向能源转型关键供应链进行投资

拜登入主白宫后，全球所有最大经济体都将制定未来 30 或 40 年内实现温室气体净零排放的目标，低碳能源供应链将比以往更具战略意义。对于部分资源，包括锂、镍、钴等有时被称为“能源转型金属”的资源，政府将采取措施保障供应安全。这些举措有可能包括入股关键资产，以及为私营部门提供财务保证，在拥有基础资源但迄今尚未投资的国家进行投资。

9、中国禁止从澳大利亚进口煤炭的禁令将持续一整年

虽然从澳大利亚进口煤炭无疑会给中国买家带来极大便利，但是如果他们愿意支付更高的价格，也有许多其他资源可供选择。国际供应链可以重新调整以继续满足中国的煤炭需求。2020 年中国煤炭价格大幅上涨，表明中国政府愿意为其进口来源的转变提供资金支持。

10、拜登政府将在气候政策上小心谨慎

拜登赢得了美国大选，他承诺将立即采取行动应对气候变化，但美国的政治和经济现状将限制他的行动速度，参议院的构成将阻止任何激进的气候法规通过。至少在初期，脆弱的经济现状将延迟出台那些可能会导致失业的措施，例如对油气行业的压制。而拜登政府也将采取一些重要的象征性举措，其中包括让美国重返《巴黎气候协定》，以及制定最迟在 2050 年实现美国净零排放的目标。就具体政策而言，预计政府将更多地使用“胡萝卜政策”，例如采取措施放开对海上风电投资的限制，而非使用“大棒政策”。

（岳芳）

项目计划

德国投入 7 亿欧元支持 3 个绿氢旗舰研究项目

1 月 13 日，德国联邦教研部（BMBF）宣布投入 7 亿欧元支持 3 个绿氢旗舰项目⁴，以开发先进绿氢技术，推进德国氢能战略的实施。3 个旗舰项目的方案是从 2020 年夏季创意竞赛的 32 个方案中选取，将从 2021 年开始持续实施 4 年，预计将有 200 多个合作伙伴参与，以消除绿氢大规模部署的障碍。3 个项目详情如下：

1、H₂Giga 项目

该项目将开发大规模、高性能制氢电解槽，并实现批量生产。德国氢能战略目

⁴ BMBF bringt Wasserstoff-Leitprojekte auf den Weg. <https://www.bmbf.de/de/bmbf-bringt-wasserstoff-leitprojekte-auf-den-weg-13530.html>

标是到 2030 年部署 5 吉瓦电解制氢设备，需要开发高效、耐用、可靠、可扩展的低成本电解槽。尽管目前市场上已经有大型电解槽可长时间工作，但尚未实现批量生产，因此需开发可批量生产的模块化电解槽。项目将开发质子交换膜电解槽、碱性电解槽和高温电解槽的批量生产技术，同时还将推进对阴离子交换膜电解槽的研究。

2、H₂Mare 项目

该项目将开发直接利用海上风电生产氢气及副产品（甲烷、甲醇、氨、燃料等）的解决方案，无需连接电网，以最大限度降低氢气生产成本。海上风力涡轮机发电能力高于陆上风力涡轮机，两者的平均额定容量分别为 5 兆瓦和 3.5 兆瓦。该项目将研究把电解制氢设备集成到海上风力涡轮机的方案，以直接利用海上风电制氢及副产品，最大化利用海上风电潜力，显著降低制氢成本。另外，电解装置无需与电网连接，能够降低电网负荷。同时，项目还将进一步探索利用海上风电制取的绿氢直接生产副产品，如生产甲醇、氨等，以及开发海上的“Power-to-X”（电力转换为其他能源载体）技术，还将进一步推进蒸汽电解、海水电解等新型技术。

3、TransHyDE 项目

该项目将开发并测试短、中、长距离运输氢气的解决方案，以促进建立高效氢经济。项目将评估和示范多种氢气运输技术，以确定最佳解决方案，建立经济高效的氢基础设施。德国未来的氢需求将大部分由本国生产满足，小部分采用进口方式，因此需开发相应的氢气输送方案。某些情况下，可以使用现有天然气网络和天然气存储基础设施，但在某些情况下将需要开发全新的氢运输技术。具体而言，该项目将在四个示范课题中分别测试和升级一种技术，包括：利用高压容器储运氢；液氢运输；利用现有和新的管道运输；以氨为载体的运输。

（岳芳）

ARPA-E 资助 4700 万美元支持变革性能源技术研发

1 月 12 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布在“有应用潜力的领先能源技术种子孵化”（SCALEUP）主题研发计划框架下资助 4700 万美元⁵，旨在支持具有潜在颠覆性影响的变革性能源技术研发，并协助相关研发机构将其取得实验室进展、具有应用潜力的技术推向商业化。本次资助研究项目主要涉及电池、数据中心、电网现代化、减排等主题，具体内容如下：

1、用于电动飞机的下一代锂金属负极电池（承担机构：24M 技术公司；资助金额：900 万美元）

开发可用于电动飞机的下一代锂金属电池及年产能达到 1 兆瓦时的中试生产线，

⁵ DOE Announces an Additional \$47 Million in Funding for Commercial Scaling of Transformational Energy Technology Projects. <https://arpa-e.energy.gov/news-and-media/press-releases/doe-announces-additional-47-million-funding-commercial-scaling>

目标是将商业模块化生产线的电池成本降至低于 70 美元/千瓦时，功率密度超过 1.5 千瓦/千克，能量密度达到 450 瓦时/千克。

2、适用于高能效数据中心和 5G 网络的 8 英寸 3D 氮化镓 (GaN) 场效应晶体管制备技术 (承担机构: 剑桥电子公司; 资助金额: 432 万美元)

将已开发的一种 GaN 晶体管制备技术成果在美国一家 8 英寸硅片制造厂进行转化，并与外延晶片供应商、代工厂以及半导体芯片和模块制造商合作开发产品，以提高数据中心能效、减少温室气体排放。该项成果采用颠覆性 3D 打印方法制备晶体管，性能远超过传统技术制备的平面型 GaN 晶体管。

3、在电动汽车中加速规模化采用高容量的硅负极技术 (承担机构: Sila 纳米技术公司; 资助金额: 1000 万美元)

开发一种硅基复合负极材料，将车用锂离子电池能量密度提高 20% 以上，并实现快速充电，并探索将上述硅负极应用于可穿戴设备、便携式电子设备和电动汽车。Sila 公司将通过更高效的材料筛选、在线诊断、改进前驱体利用率等提高开发效率，缩减开发周期，降低成本，进而降低电动汽车电池成本。

4、扩大具有成本效益的电网现代化技术 (承担机构: 转换资源公司; 资助金额: 856 万美元)

针对大型商业、工业客户以及电力公用事业单位，开发新一代配电自动化技术，该技术可经济高效地提高配电网的可靠性和弹性。该项目还将与相关合作伙伴开展技术验证试验，以消除商业化面临的潜在风险，推进新技术的市场化进程。

5、盆地规模的持续油气排放监测网络 (承担机构: LongPath 科技公司; 资助金额: 500 万美元)

构建一个石油和天然气行业最大的连续排放监测网络，能够在美国西南部 700 平方英里的 Permian 盆地实时定位监测天然气排放位置及规模，目标是覆盖盆地内 850 多个石油和天然气设施，使整个盆地范围内油气生产相关甲烷排放减少 60%-80%。

6、适用于大规模储能和电动汽车的高度可扩展虚拟电厂平台 (承担机构: AutoGrid 系统公司; 资助金额: 225 万美元)

将开发一款电网灵活性管理和虚拟电厂软件平台，使公用事业和能源服务提供商能够聚合和优化分布式能源资源，实现利用时间套利（在电力成本低的时候购买和储存能源，在成本高的时候出售或使用储存的能源）、按需收费（在高峰需求期间确定收费）管理和电网服务，以实现能源资源价值的最大化。

7、聚合物电解质制造工艺 (承担机构: 离子材料公司; 资助金额: 800 万美元)

验证聚合物电解质的三个关键要素，包括：大批量、商业化、高质量的聚合物电解质材料和组件的可制造性，高容量锂离子电池的安全性，是否达到商业规格的

电池性能，以消除商业化道路上的关键技术、制造和市场风险。开发新制造工艺，将聚合物电解质生产成本降低 15%，并争取获得超大容量车用固态锂离子电池的第三方生产资质。

(郭楷模)

西门子投入 1.2 亿欧元布局海上风电制氢

1 月 13 日，西门子歌美飒 (Siemens Gamesa) 与西门子能源 (Siemens Energy) 宣布，未来五年将共同投入约 1.2 亿欧元⁶，用于开发完全集成的海上风电制氢解决方案。该项目是由西门子能源牵头联盟发起的灯塔项目——“H2Mare 计划”的一部分，将得到德国联邦教育及研究部创意竞赛 “Hydrogen Republic of Germany” 的支持。西门子歌美飒将投入 8000 万欧元，西门子能源将投入 4000 万欧元，共同开发一种创新解决方案，将电解槽完全集成到海上风力涡轮机中，直接生产绿色氢气，计划在 2025/2026 年前进行实际运行规模的示范。该项目将采用西门子歌美飒开发的 SG14-222 DD 型海上风力涡轮机。西门子能源公司将开发一种新型电解槽，将其集成至风力涡轮机塔架底部，不仅能适应海上恶劣环境，而且能与风力涡轮机的运行完全同步。该解决方案可以促进风电部署，同时降低制氢成本，验证在制氢系统中可靠、高效地利用海上风力涡轮机的可行性，促进可再生能源制氢的大规模、经济高效生产。

(岳芳)

前沿与装备

聚合物钝化显著提升填充因子增强钙钛矿太阳能电池性能

相关研究表明在钙钛矿和电荷传输层的界面处插入聚合物钝化层可以有效地改善钙钛矿太阳能电池开路电压。然而，大多数聚合物钝化层是不良导体，在钝化界面改善开路电压的同时也会导致电池串联电阻增大，这使得研究人员在做钝化处理时陷入需要权衡开路电压改善和电阻增大的两难境地。因此，如何克服上述困境，实现钝化效果最大化是当下钙钛矿太阳能电池研究领域的热点前沿之一。

由澳大利亚国立大学 Thomas P. White 教授课题组牵头的国际联合研究团队巧妙设计了一种纳米图案的电子传输层，其能够修改钝化层的空间分布，进而形成纳米尺度的局部电荷传递通道而非传统的界面钝化，从而克服了上述的困境，提供有效的钝化和出色的电荷提取，开路电压和填充因子同时得到了改善。目前广泛采用的电子传输层材料为致密二氧化钛 (TiO₂) 或多孔 TiO₂，但上述电子传输材料与钙

⁶ Siemens Gamesa and Siemens Energy to unlock a new era of offshore green hydrogen production.
<https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/siemens-gamesa-and-siemens-energy-unlock-new-era-offshore-green-hydrogen-production>

钛矿光敏层存在大面积接触，这意味着存在这大量的界面复合发生位点。由此产生了界面钝化处理工艺，但传统的钝化材料导电性不佳，一定程度上会削弱载流子抽取效率。为此，研究人员利用刻蚀方法在透明导电玻璃上生长了一层 TiO₂ 纳米杆阵列电子传输层，这就可以保证在其具备优秀的电荷抽取和传输效率（一维纳米结构可以提供载流子快速传输通道，从而有效克服导电性不佳的聚合物钝化层带来的负面效应）前提下，大幅减少其与钙钛矿的接触面积，进而有效减少界面非辐射损失。接着研究人员在 TiO₂ 纳米杆阵列表面依次沉积一层超薄的聚合物钝化层和钙钛矿薄膜并组装成完整的小面积（0.1 cm²）电池器件。为了对比研究，研究人员同步制备了基于传统的致密和多孔纳米结构的 TiO₂ 电子传输层的小面积电池器件。电化学性能表征显示，三种不同电子传输层的器件的开路电压和短路电流基本一样，但是填充因子存在明显不同，其中基于致密 TiO₂ 电池器件的填充因子最小为 73.9%，而基于多孔 TiO₂ 的电池器件填充因子较好为 79.0%，而基于 TiO₂ 纳米杆电池器件的填充因子超过了 80%，高达 82.3%；因此基于 TiO₂ 纳米杆电池器件获得了最高的光电转换效率 21.9%。而为了克服传统空穴材料存在易吸收水分的问题，研究人员随后用疏水性的无掺杂空穴材料替换传统的 Spiro-OMeTAD，实验结果显示电池最佳性能可以进一步提升到 23.2%。随后研究人员进一步制备了大面积（1.2 cm²）器件，依旧可以获得高效的性能，认证转换效率为 21.6%，开路电压和填充因子分别为 1.2 V 和 84%。更为关键的是封装器件在 85℃、85%的湿度环境下连续辐照 1000 小时后仍可维持 91.7%的初始效率，展现出极其优异的长程稳定性。

该项研究精心设计制备纳米杆阵列的电子传输层以克服聚合物钝化层导电性较差引起的载流子抽取效率不佳问题，同时避免其与钙钛矿大面积接触的界面复合损失，在保障电池开路电压前提下显著提升了填充因子，同时辅以疏水性无掺杂的空穴传输材料，获得了高达 84%填充因子和 21.6%认证光电转换效率，更为关键的是器件表现出优异的长程稳定性，为设计开发高效长寿命钙钛矿太阳电池指明了新方向。相关研究成果发表在《*Science*》⁷。

（程向阳 郭楷模）

天然辣椒素添加剂助力 MAPbI₃ 薄膜平面型钙钛矿电池创效率纪录

目前文献报道的钙钛矿太阳电池主要采用多晶钙钛矿薄膜，然而多晶结构薄膜存在大量的晶界和缺陷，诱发了非辐射的界面复合，致使电池的性能受到抑制。因此，减少钙钛矿薄膜的晶体缺陷、抑制薄膜的非辐射界面复合是改善电池性能的关键因素之一，而向薄膜中加入添加剂是目前广泛采用的行之有效方法，但目前文献报道的添加剂都是环境不友好的化学试剂，亟需探索开发环境友好型的添加剂。

⁷ Jun Peng, Daniel Walter, Yuhao Ren, et al. Nanoscale localized contacts for high fill factors in polymer-passivated perovskite solar cells. *Science*, 2021, DOI: 10.1126/science.abb8687.

瑞典林雪平大学 Mats Fahlman 教授课题组牵头的国际联合研究团队将纯天然的辣椒素作为微量添加剂加入到甲基铵铅碘 (MAPbI₃) 中, 不仅有效地抑制了薄膜的表面缺陷, 还改变了钙钛矿表面的电子结构, 使其表面的钙钛矿从 P 型转变成 N 型形成了异质结, 在上述两种因素协同作用的情况下, 电池的性能和稳定性均得到了改善, 获得了 21.88% 的转换效率, 是迄今为止基于 MAPbI₃ 钙钛矿薄膜中平面型钙钛矿电池性能的最高值。研究人员首先将纯天然的辣椒素配置成溶液, 作为添加剂按照不同的比例加入到钙钛矿 MAPbI₃ 前驱体溶液中, 随后通过旋涂法制备了钙钛矿薄膜。为了对比研究, 研究人员同步制备了无辣椒素添加剂的 MAPbI₃ 薄膜。随后分别以上述薄膜为光敏层制备出了完整的平面型结构钙钛矿太阳电池器件, 并开展电化学性能测试。实验结果显示, 无添加剂电池器件光电转换效率为 19.1%, 填充因子不到 80%; 而含有添加剂的电池器件均表现出更加优异的性能, 其中当添加剂的比例为 0.1% 时 (添加剂与钙钛矿质量比), 基于辣椒素添加剂的电池器件性能达到最优, 尤其填充因子直接突破了 80%, 达到了 83.8% 高值, 进而电池光电转换效率提升到了 21.9%, 创造了基于 MAPbI₃ 钙钛矿薄膜中平面型钙钛矿电池效率的最高值。一系列的微观表征表明了辣椒素添加剂引入后钙钛矿薄膜的缺陷浓度下降, 非辐射的界面复合减少; 且薄膜表面电子结构发生了转变, 从 P 型变成 N 型即形成了表面局域的异质结, 这有助于载流子空穴的分离。最后对电池器件长程稳定性开展研究, 实验显示含有辣椒素添加剂的电池在一个标准太阳光辐照下连续运行 800 小时后, 效率仍可维持初始值的 90% 以上, 表现出了优异的稳定性。

该项研究将天然的辣椒素作为添加剂引入到钙钛矿薄膜中, 一方面减少了薄膜缺陷抑制了非辐射复合损失, 另一方面改变了薄膜表面电子结构形成了异质结, 两者协同作用增强了电池的性能, 获得了迄今为止基于 MAPbI₃ 薄膜的平面型钙钛矿太阳电池效率最高值 21.88%, 且表现出优异的长程稳定性, 为开发高性能长寿命的钙钛矿电池指明了新方向。相关研究成果发表在《*Joule*》⁸。

(程向阳 郭楷模)

同步辐射 X 射线层析成像技术揭示固态电池界面动态演化

固态电池因其替代液体电解质, 具有更高的安全性而引起人们的兴趣。此外, 固态电解质 (SSEs) 能够抑制锂枝晶的生长, 从而使得锂金属电池得以推广应用。尽管目前具有高离子导电性的 SSEs 得到了一定的发展, 但对固体电极/SSE 电池界面的理解和控制已成为固态电池发展中的主要挑战。一般来说, 由于 SSE 不能像液体电解质一样流动, 与液体电解质电池相比, 化学机械降解在固态电池中会更加严

⁸ Shaobing Xiong, Zhangyu Hou, Mats Fahlman, et al. Direct Observation on p- to n-Type Transformation of Perovskite Surface Region during Defect Passivation Driving High Photovoltaic Efficiency. *Joule*, 2021, DOI: 10.1016/j.joule.2020.12.009

重。因此，探究固态电池界面化学-机械转换对于设计固态电池至关重要。

大多数 SSEs 对金属锂是不稳定的，在界面处会分解形成界面层，界面处电子的传输过程对电池的化学机械降解路径起着重要作用。此外，形成钝化间相的 SSEs（如 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ 和 $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ 体系）经常容易受到锂金属穿刺和短路的影响，从而限制了循环电流密度。同时，在氧化还原循环过程中，保持 Li/SSE 界面的机械接触同样具有挑战性。电极材料和间相的形态变化会导致电池界面电子传导损失或其他机械损失。电化学研究表明，锂剥离过程中 Li/SSE 界面的形成从根本上限制了孔洞的形成，孔洞的减少将导致更大的局部电流密度，从而驱动锂金属电极的穿刺。因此，要探究这一“埋藏于”固态电池中的界面变化过程，需要一种技术能够穿透材料并提供局部的界面信息。X 射线层析成像技术因其空间分辨率低至亚微米尺度，并能将观测材料进行原位重建，而受到研究者的广泛应用。但目前还没有任何 X 射线层析成像实验对电极循环过程中电极与固态电解质界面空隙的形成和 Li/SSE 界面接触进行成像分析，以实现与电化学行为的定量联系。

基于此，美国佐治亚理工学院 Matthew T. McDowell 团队及合作者利用 Operando 同步辐射 X 射线层析成像技术在较高标称电流密度 ($\geq 1 \text{ mA cm}^{-2}$) 下直接观测 Li/Li₁₀SnP₂S₁₂/Li 对称电池的动态现象。研究人员首先在两种不同的电流密度下进行原位 X 射线显微成像，观察 $4 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $1 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 电流密度循环前后重构界面图像，发现在界面处可以看到形成了中间衬度的界面相，其中 $1 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 电流密度下，完全循环一次后，界面处的空隙显著增大。随后研究人员探究了电池循环过程中 Li/Li₁₀SnP₂S₁₂ 界面处空隙形成、界面相演化及体积变化特征。发现电池界面相的形成将引起界面处的相变和显著的体积变化，通过电化学定量分析揭示了电池失效最终是由界面空隙形成及接触损失所导致的电流收缩所驱动的。

该项研究揭示了固态电池中界面的动态演化，直观地展现了导致电池失效的重要因素：界面接触损失和重构过程，观察到化学机械现象对锂离子电池的运行起着关键作用。而 Operando 同步辐射 X 射线层析成像技术可以量化 Li/SSE 界面的接触损失，从而帮助解释充电过程中的丝状锂成核与生长，此发现也为了解固态电池性能衰减机制提供了重要启示。相关研究成果发表在《*Nature Materials*》⁹。

（汤匀）

⁹ John A. Lewis, Francisco Javier Quintero Cortes, Yuhgene Liu, et al. Linking void and interphase evolution to electrochemistry in solid-state batteries using operando X-ray tomography. *Nature Materials*, 2021, <https://doi.org/10.1038/s41563-020-00903-2>

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

