

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：2018 年全球能源需求增长强劲 碳排放创历史新高
- 麦肯锡发布《全球能源远景》报告
- 英国发布面向 2030 年海上风能产业战略
- 欧盟 2020-2030 年资助超 100 亿欧元支持低碳技术研发创新
- NEDO 资助 36 亿日元推进超临界地热发电技术研发

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

IEA: 2018年全球能源需求增长强劲 碳排放创历史新高2
麦肯锡发布《全球能源远景》报告6
英国发布面向2030年海上风电产业战略8

项目计划

欧盟2020-2030年资助超100亿欧元支持低碳技术研发创新10
DOE注资小企业创新技术基金1亿美元12
DOE资助1.3亿美元支持先进太阳能技术早期研发13
NEDO资助36亿日元推进超临界地热发电技术研发14

前沿与装备

氧化硅插层助力钙钛矿/晶硅串联电池创下25.4%效率纪录14
超长循环寿命有机-空气电池谱写空气电池发展新篇章16
分子和半导体双PN结实现高效稳定CO₂还原制甲酸16
双功能局部高浓度电解液增强锂硫电池循环稳定性17

本期概要

国际能源署（IEA）发布《全球能源与二氧化碳现状 2018》报告，系统分析了不同能源资源需求变化和相关的 CO₂ 排放情况：2018 年强劲的经济增长和旺盛的供暖制冷需求推动了全球能源消费需求强劲增长了 2.3%，创下近 10 年来最大增幅，几乎是 2010 年以来平均增幅的两倍。其中全球石油需求同比增长 1.3% 至 130 万桶/日，低于 2017 年增长水平，增长放缓，主要原因是油价上涨。受到能源需求增长和全球煤改气步伐加快影响，2018 年全球天然气需求增长了 1700 亿立方米，同比增幅 4.6%，创下 2010 年以来的最大增幅。2018 年全球煤炭需求增长 0.7%，即 40 亿吨，连续第二年增长。2018 年，可再生能源消费需求增长了 4%，占到全球能源需求增量约四分之一，仅次于天然气。2018 年，全球电力需求增长 900 TWh，同比增长 4%，是同期全球能源需求增幅的 2 倍。2017 年全球能源效率的改善速度继续放缓，全球能源强度仅降低 1.3%，连续第三年减缓了。受到能源需求增长和能效改善趋缓的影响，2018 年全球能源相关的 CO₂ 排放增长了 5.6 亿吨，同比增幅 1.7%，达到 331 亿吨，创下历史新高。

麦肯锡咨询公司发布了《全球能源远景》报告，展望了到 2050 年全球能源需求、供应及碳排放的发展趋势：2035 年后全球能源需求将停止增长，2035 年可再生能源将在电力结构中占比过半，2050 年全球电力消费将翻一番，天然气将是唯一在能源需求中占比增长的化石能源，石油需求增速基本放缓并将在 2033 年达到峰值，全球碳排放将在 2024 年达到峰值，到 2050 年全球碳排放将下降 20%，但仍无法满足全球温升控制在 2°C 以内的目标。

英国商务、能源与产业战略部发布面向 2030 年的《海上风能产业战略》，提出到 2030 年将英国海上风电装机容量增加到 30 GW，实现海上风电电力占比 30%，报告提出了战略性发展建议：持续进行研发创新，降低海上风电成本，提高产业竞争力，加速海上风电商业化，将海上风电产业打造成最具创新活力的经济部门；进行海上风电技术培训，建立海上风电技能认证框架，培养海上风电产业劳动力；产业界将向海上风电基础设施投入 400 亿英镑，通过海上风电差价合约机制降低成本，政府也将提供 5.57 亿英镑补贴；产业界将建立更具生产力和竞争力的供应链，并在政府政策支持下促进海上风电出口；促进区域海上风电发展，打造海上风电创新集群。

欧盟委员会宣布将向创新基金投入超过 100 亿欧元，启动一项为期十年（2020-2030 年）的计划，作为“地平线欧洲”和“欧洲地区发展基金”的补充，主要聚焦五大技术领域：能源密集型行业，碳捕集、利用和封存，可再生能源和储能，旨在支持能源、建筑、运输、工业和农业等部门的低碳技术研发创新。

日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布在 2019 财年资助 36 亿日元支持超临界地热发电技术开发，重点关注 4 大技术主题，包括：（1）超临界地热资源评价勘查技术调查研究；（2）超临界地热发电所必要的钻井技术和材料调查研究；（3）超临界地热储层建模技术；（4）基于 AI 的新型勘探和钻探技术。详见正文。

IEA：2018 年全球能源需求增长强劲 碳排放创历史新高

3月26日，国际能源署（IEA）发布《全球能源与二氧化碳现状 2018》报告¹指出，2018年强劲的经济增长和旺盛的供暖制冷需求推动了全球能源消费需求增加了2.3%，创下近10年来最大增幅，几乎是2010年以来平均增幅的两倍。其中，推动增长的最大驱动力依旧是化石能源，提供了近70%的需求增量，其次是可再生能源提供了近25%增量，其余来自核能。同期，全球能效改善速率持续放缓，能源强度仅下降1.3%，这是连续第三年放缓。受上述能源需求增加和能效提升减缓的影响，全球能源相关的CO₂排放量强劲增长1.7%至331亿吨，创历史新高，连续第二年增长。报告系统分析了不同能源资源需求变化和相关的CO₂排放情况，主要内容如下：

1、石油

2018年，全球石油需求持续增长，但受到油价上涨的影响，全球石油需求增幅放缓，同比增长1.3%至130万桶/日，低于2017年增长水平（150万桶/日）。需求增长的最主要原因是全球石化行业需求旺盛。其中大部分的需求增长来自美国、中国和印度三个国家。美国增幅最大，为54万桶/日，主要是石化行业、工业和交通运输行业需求强劲所致。其次是中国，需求增长了44.5万桶/日，低于2017年水平，归因于中国政府大力推行清洁能源发展和空气污染治理环境政策，尤其是环境政策降低了柴油需求增长。印度的石油需求在2018年增长了5%，同样低于2017年的增长水平，主要原因包括印度政府上调了汽油消费税、不断出台减少运输燃料消费的相关措施以应对空气污染问题、以及货币贬值油价上涨等。日本的石油需求继续萎缩，主要原因包括：工业和运输领域能源效率的持续提升，且随着四个核反应堆自2011年福岛第一核事故以来重新启用，用于发电的石油数量不断减少。韩国的石油需求也在减少，主要是韩国政府大力推进电力行业的气代油（天然气替代石油）发展。

受到经济不景气和物价上涨影响，欧洲石油需求依然停滞不前。其中德国的石油需求大幅下降，2018年下降了13.5万桶/日。由于俄罗斯石油需求反弹，欧亚大陆的石油需求强劲增长，而单就俄罗斯一国的增幅就占到欧亚大陆的80%以上。2018年中东地区石油需求大幅下降，主要原因包括沙特阿拉伯价格改革、电力部门转向天然气等。在非洲，由于南非低迷的经济和埃及政府大力发展天然气，使得2018年非洲石油需求增长受到了限制。拉丁美洲的石油需求深受到阿根廷、委内瑞拉和巴西经济困难的影响。其中巴西的石油需求在2017年恢复了温和的增长，因为经济从

¹Global Energy & CO₂ Status Report 2018.

https://webstore.iea.org/download/direct/2461?fileName=Global_Energy_and_CO2_Status_Report_2018.pdf

深度衰退中复苏。受到国内生产总值下降，阿根廷的石油需求在 2018 年大幅下滑，类似情况也出现在了委内瑞拉。

2、天然气

受到能源需求增长和全球煤改气步伐加快影响，2018 年全球天然气需求增长了 1700 亿立方米，同比增幅 4.6%，创下 2010 年以来的最大增幅，也是自 2017 年增长 3% 之后连续第二年强劲增长。增长动力主要来源于美国和中国，两国合计贡献了全球近 70% 的天然气增量。美国是 2018 年全球天然气需求增长的最大推动者，消费需求增加了 800 亿立方米，较 2017 年增长了 10.5%，是自 20 世纪 50 年代初以来最高的增长速度，相当于 2018 年英国天然气的消费总量。同期，中国天然气消费增长了近 18%，即 420 亿立方米，是实施“十三五计划（2016-2020 年）”以来最快的增速，主要原因是中国实施的“打赢蓝天保卫战”政策驱使燃煤锅炉的加速淘汰、煤改气的步伐加快。由于上述强劲增长，中国超越日本，成为世界上最大的天然气进口国。

中东和北非的石油和天然气生产国通过开发天然气联合循环发电技术从而减少发电用电量，推动了天然气消费的增长。2018 年俄罗斯天然气消费量连续第三年增长，主要来源于发电需求的强劲增长（因为燃煤发电量略有下降）。在经历了过去两年的连续增长后，2018 年欧洲天然气消费量有所下降，主要原因是天然气消费对于天气的高度敏感性，虽然 2018 年第一季度出现了寒流，但 2018 年温暖的第四季度减少了取暖用天然气的消费。

3、煤炭

2018 年全球煤炭需求增长 0.7%，即 40 亿吨，连续第二年增长。尽管需求连续增长，但煤炭在全球能源结构中的占比继续缓慢下降。煤炭仍然是最大的电力来源和第二大一次能源。煤炭消费重心继续向亚洲转移，增长仅发生在亚洲的一些国家，如中国、印度等，主要是因为这些国家的电力需求增加。尽管非煤电来源，特别是可再生能源的快速扩张，2018 年中国煤电发电量依旧增长了 5.3%。2018 年印度经济强劲增长 7%，推动了本国煤炭需求强劲增长 5%，特别是发电和钢铁生产煤炭需求量极为旺盛。

在东南亚，印度尼西亚、越南、菲律宾和马来西亚等国家的煤炭使用量大幅增加，主要原因是发电量增加和发电对煤炭的依赖。在日本和韩国，2018 年煤炭需求略有下降，这与 2017 年需求的大幅增长有所变化。在欧洲和北美，煤炭需求持续下降，归因于淘汰煤炭的环境政策、更经济的可再生能源以及美国天然气供应充足。在欧洲，煤炭需求继续下降，2018 年下降 2.6%，主要原因是可再生能源发电量增加。在美国，煤炭工业继续呈现萎缩态势。尽管当前政府支持复兴煤炭产业和电力需求的增加，然而廉价、充足的天然气供应、可再生能源的持续扩张以及燃煤电厂的老

化等因素都促成了煤炭长期结构性衰退的趋势。

尽管 2018 年天然气价格上涨了，但 2018 年煤炭使用量依旧下降了 4% 以上，而天然气需求却增长了 10% 以上。这标志着页岩革命开始以来，首次出现在天然气价格上涨的情况下，天然气增长而煤炭下降。

4、可再生能源

2018 年，可再生能源消费需求增长了 4%，占到全球能源需求增量约四分之一，仅次于天然气。电力行业在可再生能源增长中发挥了最重要的作用，2018 年可再生能源发电量增长了 7% (+450 TWh)，使得可再生能源在全球发电总量中的占比超过了 25%，仅次于煤炭。太阳能光伏、水电和风电分别占到增量的三分之一左右，其余大部分是生物能源。

就国家而言，中国占可再生能源发电增量的 40% 以上，其次是欧洲，占 25%。美国和印度合计贡献了另外 13% 的增量。中国太阳能光伏发电装机容量在 2018 年增加 44 GW，低于 2017 年的 53 GW，主要原因是中国政府出台“531 新政”抑制光伏无序增长扩张。在美国和印度，太阳能光伏发电的年增量与 2017 年水平相当，而欧洲地区光伏自 2015 年以来首次恢复增长。中国的风电装机增量从 2017 年的 15 GW 增加到 2018 年的 20 GW，主要原因是政府解除了部分省份风电红色预警。在欧洲，2018 年的风电装机增量少于 2017 年。同期，美国风电市场呈现缓慢反弹。受益于拉丁美洲和中国水电装机的增长，全球水电装机增量在 2018 年上涨 3%。在 2017 年达到创纪录水平之后，美国的水力发电在 2018 年恢复到正常增长水平。总体而言，水电仍然是最大的可再生能源电力，占可再生能源所有电力供应的 60% 左右。其他可再生能源电力增长了 7%，主要是生物能源。地热发电主要在土耳其、印度尼西亚和美国有所增加。在交通运输方面，全球生物燃料产量在 2018 年增长了 6%。由于国际食糖价格下跌，巴西的乙醇产量增长了 12%。由于丰富的玉米作物和国内乙醇设施的高产能利用率，美国的生物乙醇产量在 2018 年继续增长。得益于政府在全国全面推广和使用乙醇汽油，中国的生物乙醇产量增长了 24%。就供暖制冷领域而言，生物质热能依旧是最大的可再生热源、其次是太阳能热能，主要用于建筑物。

5、电力

2018 年，全球电力需求增长 900 TWh，同比增长 4%，是同期全球能源需求增幅的 2 倍，创下 2010 年以来的最大增幅。可再生能源和核能一起贡献了大部分的电力需求增量。同期，燃煤和燃气发电厂的发电量也大幅增加，使得电力行业二氧化碳排放量增长到了 130 亿吨，同比增幅 2.5%。去年电力需求增长的五分之一可归因于天气状况：去年夏天是有史以来第四个最热的年份，炎热的夏季导致空调用电量大幅增长；同样，北美地区异常寒冷的冬天也导致供暖用电需求大幅增加。

中国和美国是当今世界最大的两个电力市场，2018 年两国电力需求增量合计占

全球需求增长的 70%。其中中国电力需求增长了 8.5%，显著高于近几年增幅，主要原因是工业部门（钢铁、水泥生产）和住宅电力需求强劲。在美国，在保持过去几年稳定后，2018 年电力需求增长了近 4%，达到创纪录的近 4 000 TWh，占全球电力消费总量的 17%，增长的主要原因是炎热夏季和寒冷冬天增加了建筑物的电力需求。受到空调电力需求旺盛和电气化水平提升的影响，印度的电力需求增长约 65 TWh，同比增长 5.4%。过去两年里，印度完成了所有乡村的电气化工作，乡村电力服务范围已经扩展到约 3000 万人。其他发达经济体电力需求增长相对较乏力，欧洲和日本增长不到 1%，而澳大利亚则出现了下降情况。

2018 年，可再生能源新增发电量 449 TWh，同比增长 7%，占全球新增发电量的近一半（45%），使其在全球电力构成中的份额达到 26% 的历史新高。2018 年许多国家可再生能源获得创纪录的发展，例如德国，可再生能源发电首次超过燃煤发电。在英国，可再生能源电力达到了总发电量的 35%，创历史新高。太阳能光伏、水电和风电各占全球可再生能源发电量增量的 30%，其余大部分为生物质发电。核能发电量增加了 3.3%，即 90 TWh。尽管低碳能源发电量有所增加，但 2018 年燃煤和燃气发电也同样增长。2018 年煤炭是新增发电量的最大来源，占新增发电量的 26%，其在电力结构中的占比为 38%，依旧是最大的发电来源。煤炭发电量增幅最高的是中国，其次是印度，他们显著的增长抵消了美国、欧洲和日本的减少。

6、能效

2018 年，全球能源效率持续改善，能源强度较 2017 年下降 1.3%。虽然能效得到改善，但其改善的速率一直在减缓，从 2015 年近 3% 的高位下降到 2017 年的 1.9%，到 2018 年又再次下降，已经是连续第三年减缓，归因于新能效政策出台缓慢（能效政策的覆盖面增长缓慢）和现有政策严格程度降低。

当前，强制性的能源效率政策仅覆盖终端能源消费领域的约三分之一，2018 年加强现有能源效率政策的工作仍然薄弱。财政激励、市场工具、信息和能力建设等政策措施的进展也非常有限。许多国家通过向公用事业部门设定强制义务来实现节能目标，从而提高能源使用效率，然而从世界范围看这些目标自 2014 年以来就没有发生变化。

全球能源效率的改变存在显著的区域差异：欧洲和印度 2018 年能源效率的改善均有所提高，分别提升了 1.6% 和 3% 以上。但世界其他地区却显著放缓，决定了 2018 年全球能效改善水平降低。中国能效改善了 2.9%，是自 2011 年以来中国能源效率增长最慢的一年。由于冬季和夏季气温带来的异常高天然气消耗量，使得 2018 年美国能源强度增长了 0.8%。

7、CO₂ 排放

受到能源需求增长和能效改善趋缓的影响，2018 年全球能源相关的 CO₂ 排放增

长了 5.6 亿吨，同比增幅 1.7%，达到 331 亿吨，创下历史新高。增长的排放量相当于全球航空业总排放量。

在中国，二氧化碳排放量增长 2.5%（即 2.3 亿吨），达到 9.5 亿吨。在美国，2017 年的减排态势发生扭转，2018 年的二氧化碳排放量增加了 3.1%。尽管如此，美国的排放量仍然保持在 1990 年左右的水平，比 2000 年的峰值少 8 亿吨。印度的排放量增加了 4.8%，即 1.05 亿吨。尽管如此，印度的人均排放量仍然很低，仅为全球平均水平的 40%。整个欧洲的排放量下降了 1.3%，即 5000 万吨。由于石油和煤炭使用量急剧下降，以及可再生能源的扩张，德国的排放量下降了 4.5%。类似情况也出现在英国，2018 年英国的二氧化碳排放量连续第六年下降，达到 1888 年以来的最低水平。法国的排放量也大幅下降，主因是政府大力发展水电站和核电站。随着能效提升和核电站重启，日本的排放量连续第五年下降。

（郭楷模）

麦肯锡发布《全球能源远景》报告

近期，麦肯锡公司发布了《全球能源远景》²报告，展望了到 2050 年全球能源需求、供应及碳排放的趋势。报告指出，2035 年后全球能源需求将停止增长；全球电力消费到 2050 年将翻一番；天然气将是唯一在能源需求中占比增长的化石能源；石油需求增速基本放缓并将在 2033 年达到峰值；煤炭需求下降导致全球碳排放下降，但仍无法满足全球温升控制在 2℃ 以内的目标。主要内容如下：

一、尽管人口和经济增长强劲，全球能源需求将在 2035 年后停止增长

尽管人口剧烈膨胀和经济快速增长，但由于可再生能源的广泛应用，全球一次能源需求将在 2035 年左右达到高位后停止增长。2016 年到 2050 年期间，全球 GDP 将增加一倍，但一次能源需求仅增加 14%，能源需求与经济增长第一次出现“脱节”。经合组织（OECD）国家能源需求下降，非洲和印度则翻了一番。能源强度的降低抵消了高收入人群增加导致的能源需求增长，尤其是在中国这样的新兴市场。到 2050 年，可再生能源和核能在能源结构中的份额将从当前的 19% 增长至 34%。

二、2035 年可再生能源在电力结构占比将过半，2050 年全球电力需求将翻一番

1、各终端用能部门电气化程度持续加深将使全球电力消耗继续增长。2050 年全球电力消耗将增长一倍，电力在总能源消耗中的占比将从目前的 19% 提升至 29%。随着电池技术的改进，电动汽车成本将快速下降，到 2020 年代早期与燃油汽车持平，推进交通部门的电气化。中国和印度等非 OECD 国家居住标准的提高使制冷和家电需求快速增长。当前工业部门采用电力进行低温制热已经足够经济，但中、高温制热需要更低的电价，限制了工业电气化的进一步发展。

² Global Energy Perspective 2019.

<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2019>

2、2030 年前大部分地区的可再生能源发电成本将低于现有天然气和燃煤发电成本。大多数国家将在未来五年内实现这一变化，美国西北部由于化石燃料价格较低且太阳能资源较少，将会在 2035 年后达到。

3、到 2035 年，全球约一半的发电装机容量将是太阳能和风能发电，以中国和印度为主。天然气发电装机的增量更多，以北美和中国为主，2016 至 2035 年全球天然气装机容量净增量达 675 GW，相当于当前 OECD 国家装机总量的三倍。大部分地区的燃煤发电装机均下降，中国的火电装机缓慢增长，印度的火电增速将低于太阳能等清洁能源。到 2050 年，可再生能源发电将占电力供应的 75%，燃煤和燃油发电则将快速减少，天然气发电占比将在 2035 年达到峰值。

三、2035 年前，天然气是唯一在能源需求中占比增长的化石能源

1、天然气需求将缓慢增长至 2035 年，其后趋于平稳。1997-2016 年间，在电力部门需求增长的推动下，全球天然气需求共增长 1.3 万亿立方米。而 2016-2035 年间，工业部门引领全球天然气需求增加 20%，增量仅为 6900 亿立方米。2035 至 2050 年，天然气整体需求略有下降，其主要原因是可再生能源的竞争将导致电力部门天然气需求下降 2280 亿立方米。化学品需求增加和美国、俄罗斯、伊朗等关键市场的原料价格上涨将使天然气需求增加 2000 亿立方米。交通部门天然气需求的增加主要源于海运，然而其基数较小无法影响整体趋势。

2、中国的天然气需求增长引领全球。到 2035 年，中国天然气需求将增长 3220 亿立方米，占全球增量近一半，高于其后的增长前十名国家之和。由于在 2020 年代使用天然气代替燃油发电，中东的天然气需求将在 2030 年前达到高峰，随后由于可再生能源成本降低以及将天然气用于出口，其需求将逐渐减少。日本、意大利、阿联酋和英国占天然气需求减少总量的 70%。

四、石油需求将在 2030 年代早期达到峰值

1、石油需求增长将显著放缓，并在 2033 年左右达到 1.08 亿桶/天的高峰。尽管过去 30 年石油需求年增长保持在 1% 以上，但 2020 年后其增速将显著放缓并在 2033 年达到峰值。化工部门是石油需求增长的主要动力，由于塑料循环利用率的提高，其需求将在 2030 年后放缓。道路交通是石油需求的关键驱动力，然而电动汽车的日益普及将使道路交通的石油需求在 2025 年达到峰值，随后开始下降，到 2050 年预计其石油需求为 3000 万桶/天，是目前水平的 1/3 以下。

2、未来 15 年，化工行业占石油需求增量的一半以上，电力则是降幅最大的部门。在塑料需求的推动下，到 2035 年化学品是石油需求增长最大的部门，尤其是在新兴经济体。由于使用可再生能源和天然气代替石油发电，电力部门的石油需求降幅最大，尤其是在中东地区。OECD 国家和中国的电动汽车转型抵消了其他地区燃油汽车的增长，道路交通的石油需求降幅不大。

五、尽管全球碳排放因为煤炭需求减少而降低，但距离 2°C 目标尚很遥远

1、全球碳排放将在 2024 年达到峰值，其后由于煤炭排放减少，到 2050 年将下降约 20%。能源相关碳排放约占全球碳排放的 60%，此类排放将增长至 2024 年，随后将稳步下降。碳排放下降的主要原因是燃煤发电的快速淘汰，使得碳排放减少 60 亿吨（约 20%），相当于目前美国和日本的排放量之和。

2、中国电力部门对煤炭的需求下降导致 2050 年全球煤炭需求减少 40%。到 2050 年，中国煤炭需求将下降 5300 万太焦耳，约占目前中国总需求的 2/3。因此，尽管印度和亚洲非 OECD 国家的煤炭消费到 2050 年将增加 60%~65%，全球煤炭需求仍减少 40%。

（岳芳）

英国发布面向 2030 年海上风电产业战略

3 月 7 日，英国商务、能源与产业战略部（BEIS）发布了面向 2030 年的《海上风能产业战略》³报告，明确提出到 2030 年将英国海上风电装机容量增加到 30 GW，实现海上风电电力占比 30% 的目标，维持强化英国在海上风电产业的全球领先地位，提出了英国海上风电产业的战略性发展建议。主要内容如下：

一、将海上风电产业打造成最具创新活力的经济部门

1、产业界行动

（1）海上风电企业将建立系统海上风电优化管理和运营工作组（SMOTG），为海上风电系统集成并入大电网提供创新的解决方案。SMOTG 还将发布技术路线图以确定合作开发系统集成技术的机遇，如储能技术和风能到氢能的转化技术。

（2）风电企业应加强与英国大学和研究机构合作，持续推进海上风电技术的研发创新以提高产业链的生产力和竞争力。

（3）产业界应与政府紧密合作，建立专有研发资金以满足海上风电行业研发及商业化发展资金需求，加速海上风电技术的商业化。

2、政府行动

（1）政府应继续资助创新研发活动，进一步降低海上风电技术成本。创新活动包括提高英国海上风电电力质量和服务的竞争力，如用于测量、操作和维护的数字化和机器人技术等。

（2）政府和研究机构将与 SMOTG 合作，研究海上风电系统集成最佳创新解决方案。

二、培养海上风电产业劳动力

³ Offshore wind Sector Deal.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/786278/BEIS_Offshore_Wind_Single_Pages_web_optimised.pdf

1、产业界行动

(1) 开发技能培训需求分析和认证框架，以拓宽英国海上风电技能基础。开发海上能源“护照”（在英国境外认可），持有该“护照”就能在英国所有的海上相关行业工作，实现不同海上行业的“无缝对接”。

(2) 引入劳动力和技能模型以跟踪和报告劳动力数据，分析技能差距，并确定发展目标和指标。

(3) 增加海上风电产业劳动力的多样化和包容性，并采取行动将劳动力中的女性占比从目前的 16% 提高到 2030 年的 33% 甚至 40%。

(4) 制定完整的教育培训课程以进行海上风电技术专业培训。

(5) 与大学合作以培养高技能的海上风电研发人员，同时与政府合作制定技能培训人员的目标（在 2019 年底前设定）。

2、政府行动

政府和地方行政部门将参与一项由产业界主导的人才投资小组，该小组将确保行业行动协调一致，并与政府的技能议程形成互补，还将与石油、天然气、核能和汽车等其他行业合作。

三、基础设施

1、产业界行动

(1) 产业界到 2030 年将累计投资 400 亿英镑，对现有海上风电基础设施进行更新或者改造，确保实现 2030 年的海上风电发展目标。

(2) 通过差价合约（CFD）机制保障投资确定性，继续降低海上风电成本，实现到 2030 年风电在无补贴情况下具备优异的价格竞争力。

2、政府行动

(1) 未来 10 年，政府将为海上风电 CFD 提供 5.57 亿英镑补贴。

(2) 政府将与产业界和其他利益相关方合作，解决海上风电规模化部署面临的问题，包括航空和雷达、陆上和海上电力传输、海洋和陆上的环境影响以及对其他海洋空间使用者（如导航和捕鱼）的影响。

四、商业增长

1、产业界行动

(1) 产业界将建立更具生产力、竞争力和出口导向的供应链。成立供应链审查小组，审查整个供应链增长的机会和障碍。建立并资助一个新的海上风电增长伙伴联盟（OWGP），OWGP 将实施结构化的生产力改进计划，并与开发商合作，以增强产业供应链。

(2) 设定商业发展目标：到 2030 年海上风电项目在英国本土采购的设备和服

(3) 设立明确的海上风电出口目标：到 2030 年出口额增加 5 倍达到每年 26 亿英镑。目标出口国家和地区包括：欧洲、日本、韩国、台湾地区和美国等。

2、政府行动

(1) 政府应维持支持出口导向型增长的关键政策和方案，继续其海上风电部门的出口支持计划，包括：有针对性的计划；帮助成长中的公司进入国际市场；促进贸易和外国直接投资；支持供应商提升竞争力和生产力；与开发商和供应商合作进入新市场。

(2) 开发支持未来技术的框架。与产业界和其他利益相关方合作提出新技术，如符合竞争原则的海上浮动式风电和混合动力项目。

五、地区发展

1、产业界行动

产业界将与地方政府、区域经济发展机构合作，确定海上风电发展的优势区域及所需的具体基础设施和投资，以支持区域海上风电发展。

2、政府行动

政府将设立一个 1.15 亿英镑的地方资金来支持地方海上风电产业集群的发展，使地方政府、制造商、开发商、更广泛的供应链、学术界、创新机构（Ore Catapult）和培训提供商能够携手合作，打造海上风电创新集群。

（廖明月 郭楷模）

项目计划

欧盟 2020-2030 年资助超 100 亿欧元支持低碳技术研发创新

近期，欧盟委员会宣布将向创新基金投入超过 100 亿欧元，启动一项为期十年（2020-2030 年）的计划，旨在支持能源、建筑、运输、工业和农业等部门的低碳技术研发创新⁴。该项计划基于欧盟委员会 2018 年 11 月通过的长期战略愿景，重点资助能源密集型行业，碳捕集、利用和封存，可再生能源和储能领域的创新技术。创新基金是“地平线欧洲”和“欧洲地区发展基金”的补充，其资金来源主要是 2020-2030 年期间的欧盟碳排放交易系统（EU ETS）拍卖收入和 NER 300 计划中的未使用资金。在欧盟委员会当天发布的关于创新基金运作的指令中提到⁵，下一个多年财政框架（2021-2027 年）中计划实施的多个相关领域项目将有可能是创新基金资助的对象，主要包括：

⁴ Towards a climate-neutral Europe: EU invests over €10bn in innovative clean technologies. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1381_en.htm

⁵ Supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council with regard to the operation of the Innovation Fund. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/innovation-fund/c_2019_1492_en.pdf

一、可再生能源

- 1、风能：浮动式海上风能发电；下一代风力涡轮机。
- 2、太阳能：太阳能热发电；有机太阳电池；浮动式光伏装置；融合光伏、聚光太阳能和储能的技术。
- 3、地热能：增强型地热能。
- 4、生物能：先进生物燃料。
- 5、海洋能：潮汐能和波浪能技术。

二、储能

主要包括：产品创新，如储热、抽热蓄电、液流电池、锂离子或新型化学电池技术、压缩空气储能和液态空气储能；流程创新，如区块链技术和人工智能；系统创新，如港口能量管理系统和充电站；可再生能源产氢及其用于能源存储的大规模示范，如电解水耦合储氢系统。

三、碳捕集、利用与封存（CCUS）

- 1、碳捕集与封存（CCS）：全周期 CCS 项目；部分环节 CCS 项目。
- 2、碳捕集与利用（CCU）：捕获 CO₂ 和其他含碳排放气体并转化为可用的燃料或产品。

四、能源密集型工业

- 1、焦炭和精炼石油产品生产：转换为低碳氢；使用替代原料。
- 2、基础黑色金属生产：新冶炼还原技术；基于低碳氢的直接还原技术；电炉炼钢；炉顶煤气回收。
- 3、基础有色金属生产：低排放电解；惰性阳极/湿排水阴极；磁性钢坯加热；余热回收。
- 4、水泥和混凝土制品制造：少碳水泥；低碳水泥；混凝土成分优化。
- 5、石灰和石膏产品：通过循环等增加 CO₂ 浓度；结合富氧工艺。
- 6、玻璃及玻璃产品制造：电炉；富氧燃烧（包括热回收）；生物燃料或低碳氢等替代燃料；批量重配制和造粒。
- 7、粘土产品和耐火材料制造：电炉和烘干机；不燃或低燃产品的设计；其他产品创新。
- 8、造纸及纸产品生产：新型干燥技术；纤维材料的起泡；黑液气化；酶预处理；热回收；木质素的电化学解聚。
- 9、化学品和化学产品生产：CO₂、生物质、废物、废气、残留物和再生材料等替代碳源的更好利用；材料“突破”，如高性能功能材料，包括用于低碳能源、汽车和外壳的轻质材料；利用可再生能源电力；生产和使用低碳氢；工艺电气化，包括非常规能源。

10、其他行业：使用可再生能源电力或 CCS 生产低碳氢气；创新低碳轮胎生产。

五、交叉领域

主要包括：多个工厂的碳捕集，CO₂ 运输、利用和封存；新型大型化学电池的生产和示范；低碳氢的利用、储存和基础设施；充电技术；混合可再生能源系统；使用热泵的工业加热系统。

(岳芳)

DOE 注资小企业创新技术基金 1 亿美元

3月6日，美国能源部(DOE)宣布在“小企业创新研究与技术转让(SBIR/STTR)”计划框架下启动 2019 财年第二阶段的第二批研发资助⁶，将从前期资助的项目中，选择国防核不扩散、电网、能效与可再生能源、化石能源、聚变能科学、高能物理和核能等领域共约 100 个项目进行后续的研发资助。本次资助共分三种类型：（1）针对 2018 财年第一季度第二批资助项目，进行第二阶段资助(称为“初次 Phase II”)；（2）针对 2015 至 2017 财年资助的第二阶段项目，进行第二次资助(称为“Phase IIA 和 Phase IIB”)；（3）针对 2017 财年资助的第二阶段第二批资助项目中已获得两次第二阶段资助的 SBIR 项目，选择国防核不扩散、能效与可再生能源、环境管理、聚变能、高能物理和核能流个主题领域的项目进行第三次资助(称为“Phase IIC”)。前两类资助的主要内容见表 1。

表 1 2019 财年小企业创新研发创新第二阶段第二批资助主要内容

研究主题	研究内容
国防核不扩散	初次 Phase II: 近场检测技术；核爆炸监测技术；核法证学样本的高精度制备；空间传感器先进设计和制造技术 Phase IIA/IIB: 替代放射源技术；先进制造；国际保障；促进核爆炸监测的技术；辐射监测；遥感技术；核武器开发和材料生产检测
电网	初次 Phase II: 先进电网技术 Phase IIA/IIB: 先进电网技术；用于电网储能创新碳化硅和氮化镓的拓扑技术
能效与可再生能源	初次 Phase II: 先进制造；原子精密制造；生物能；建筑；燃料电池；地热能；太阳能；电动汽车；风能；水力发电；新型地下监测概念 Phase IIA/IIB: 先进制造；生物能；建筑；燃料电池；太阳能；电动汽车；水力发电；风能
化石能源	初次 Phase II: 传感器及控制器；先进制造和材料；石油和天然气技术 Phase IIA/IIB: 洁净煤和碳管理技术；石油和天然气技术
聚变能科学	初次 Phase II: 先进技术及材料；等离子体应用 Phase IIA/IIB: 先进技术及材料；聚变科学及技术；高能密度等离子体与惯性聚变能；低温等离子体

⁶ DOE Announces \$100 Million in Small Business Innovation and Technology Funding. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-100-million-small-business-innovation-and-technology-funding>

高能物理	初次 Phase II: 粒子加速器的先进概念和技术; 无线射频加速器; 加速器激光技术研发; 粒子加速器超导技术; 用于数据采集和处理的高速电子仪器; 高能物理探测器及仪器; 量子信息科学 (QIS) 支持技术 Phase IIA/IIB: 粒子加速器的先进概念和技术; 无线射频加速器; 加速器激光技术研发; 粒子加速器超导技术; 用于数据采集和处理的高速电子仪器; 高能物理探测器及仪器
核能	初次 Phase II: 先进核能技术; 先进核废料技术; 核科学用户设施; Phase IIA/IIB: 先进核能技术; 先进核废料技术

(岳芳)

DOE 资助 1.3 亿美元支持先进太阳能技术早期研发

3 月 26 日, 美国能源部 (DOE) 宣布为 80 个项目资助 1.3 亿美元⁷, 旨在推进先进太阳能技术的早期研发, 以提升太阳能发电的经济性、可靠性和安全性。本次资助着重关注光伏、聚光式太阳能热发电、降低软成本技术、创新制造技术和太阳能系统集成五个领域, 具体内容参见表 1。

表 1 先进太阳能技术早期研究具体内容

主题领域	具体内容	资助金额/ 万美元
光伏研究与开发	<ul style="list-style-type: none"> • 光伏应用研究合作, 包括: 材料、界面和高效电池开发; 先进光伏制造科学与技术; 系统优化; 钙钛矿模块制造和长期耐用性研究; 用于高效单晶电池的低成本基板; 光伏系统回收和报废管理 • 太阳能小型创新项目 (SIPS) 	2600
聚光式太阳能热发电 (CSP)	<ul style="list-style-type: none"> • 热能存储 (TES), 开发用于 CSP 的抽水蓄热技术, 用于周期性 (周或季度) 调度, 推进 TES 的市场应用 • 材料和制造, 开发显著降低 CSP 组件制造成本的解决方案 • 自动 CSP 集热场, 开发无需人工操作可自动运行的太阳能场, 以降低成本、提高集热效率 	3300
降低系统软成本的技术	<ul style="list-style-type: none"> • 建立合作伙伴关系以应对监管负担 • 改进数据收集方法以经济有效地评估太阳能发电对鸟类的影响, 建立共享鸟类-太阳能数据的机制 • 开发创新融资工具和/或机制推进太阳能发电并网 • 研究和开发首个解决太阳能软成本关键挑战的产品或工具 	1700
创新制造技术	开发降低太阳能发电成本并具备商业化潜力的创新制造技术	1000
先进太阳能系统集成技术	<ul style="list-style-type: none"> • 自适应配电保护, 可动态响应电气系统干扰的硬件和软件 • 太阳能和其他分布式能源的电网服务 • 先进光伏控制技术和电网安全 	4400

(岳芳)

⁷ Department of Energy Announces \$130 Million for Early-Stage Solar Research Project.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-130-million-early-stage-solar-research-project>

NEDO 资助 36 亿日元推进超临界地热发电技术研发

3 月 22 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布在“地热发展技术开发”框架下，将于 2019 财年资助 36 亿日元支持超临界地热发电技术开发⁸，推进日本超临界地热资源开发利用技术（如超临界地热资源勘查评价技术、高效成井、热储精细描述技术等）的研究突破，进一步扩大地热在全日本的部署规模，减少温室气体排放。本次资助主要关注四大主题的研究课题，具体内容参见表 1。

表 1 NEDO 超临界地热发电技术研究课题具体内容

技术主题	研究内容
超临界地热资源评价勘查技术调查研究	继续对日本北海道、东北、九州三个地区的高温（500℃）深部（深度达到 4000-5000 米）地热资源进行地球物理、地球化学综合调查以及钻探与试验、取样测试、动态监测，对赋存的超临界地热能与地热流体的数量和质量做出评价
超临界地热发电所必要的钻井技术和材料调查研究	<ul style="list-style-type: none">•完成与超临界地热发电技术相关的管道材料以及水泥材料相关的国外研究进展资料搜集，推进日本耐高温井筒流体和工作液材料、高温井下安全控制技术与地面冷却设备、耐高温保温井筒密封材料和工艺等技术的进步•开展国内外超临界地热钻探方法、工具研究开发进展的相关资料收集分析；在此基础上探讨最优的钻井候选地点、钻井计划及发电系统的方案，确保超临界地热发电技术具有和现有地热发电相当的成本（9-12 日元/kWh）
超临界地热储层建模技术	<ul style="list-style-type: none">•建立合理的储层模型，分析热能开采中储层的温度、压力、流体密度等的演化规律，以及裂缝参数对于产热特征的影响•基于模拟研究指导开发先进的水力压裂建立人工热储层技术，并进行现场示范，以评价技术的效果
基于 AI 的新型勘探和钻探技术	<ul style="list-style-type: none">•采用 AI 技术对来自浅层温度分布和深层物理勘探数据进行机器深度学习分析，开发出数据中缺乏的深部温度分布、地质结构的解析技术•将测井方法和 AI 技术结合，开发出一种钻井辅助 AI 系统，对钻探获得的各种数据进行分析，评估钻头磨损率，提高钻探效率，降低钻井成本

（陈梦石 郭楷模）

前沿与装备

氧化硅插层助力钙钛矿/晶硅串联电池创下 25.4%效率纪录

目前单晶硅的实验室效率已达 26.7%，但由于传统单晶硅太阳能电池固有的禁

⁸ 2019 年度「超臨界地熱発電技術研究開発」に係る公募について。
https://www.nedo.go.jp/koubo/FF2_100249.html

带宽度特性（肖克利·奎伊瑟效率极限制约）以及较大的光折射率问题，转换效率极限值无法突破 30% 效率大关，而串联结构太阳能电池（双结或者多结）为科学家提供了突破极限效率的可能。牛津大学 Henry J. Snaith 教授课题组和德国亥姆霍兹柏林材料与能源中心研究人员合作开发出一种新型的钙钛矿/单晶硅双端接触的串联电池（活性面积超过 1 cm^2 ），并在硅基电池和钙钛矿电池之间引入纳米晶氧化硅（nc-SiOx:H）薄膜插层进行入射光调控，显著减少入射光的反射损失提升了利用率，获得了高达 25.43% 的光电转换效率（此前效率纪录是 25.2%，由瑞士洛桑联邦理工学院创造），刷新了该类型太阳能电池转化效率的世界纪录。研究人员首先分别制备了单晶硅和钙钛矿太阳能电池器件，并测试了各自的性能，其中单晶硅太阳能电池的电流密度为 16.6 mA cm^{-2} ，效率达到 20.5%；钙钛矿太阳能电池的电流密度为 21.1 mA cm^{-2} ，效率达到 18.4%。且外量子效率测试结果显示，钙钛矿电池的光谱响应在 400 到 800 纳米（禁带宽度约 1.63 eV），单晶硅太阳能电池在 800 到 1200 纳米（禁带宽度约 1.13 eV），两者具有良好的光谱响应互补特性，是串联电池子电池良好的候选。然而，串联电池要求子电池要有良好的电流密度匹配性（电流密度尽量相近），上述两种电池的电流密度匹配不佳，主要原因是单晶硅薄膜折射率较大，导致一部分红外入射光被反射造成损失。为此，研究人员在硅基电池和钙钛矿电池之间引入纳米晶氧化硅（nc-SiOx:H）薄膜插层，以调谐单晶硅薄膜的折射率，减少红外光的反射损耗。为了找出插层最佳的厚度，研究人员采用计算模拟的方法研究了不同厚度（也即不同折射率）的 nc-SiOx:H 插层对于两层子电池器件电流的影响。结果显示，厚度在 100 到 200 nm 之间的时候，两个子电池的电流密度匹配度最佳。随后制备了 100 到 200 nm 之间的一系列厚度的 nc-SiOx:H 插层，并对串联电池性能进行测试，结果显示在厚度为 110 nm（折射率为 2.6）时，两个子电池的电流密度匹配性最佳，此时钙钛矿顶电池电流密度为 19.9 mA cm^{-2} ，单晶硅底电池的电流密度为 18.8 mA cm^{-2} ，整个串联电池（受照面积为 1.08 cm^2 ）的短路电流密度为 19.02 mA cm^{-2} ，光电转换效率高达 25.43%，通过了弗劳恩霍夫太阳能系统研究所检测实验室（Fraunhofer ISE CalLab）的测试认证，创造了双端接触钙钛矿/单晶硅串联电池效率新纪录。该项研究通过在钙钛矿/晶硅双端接触的串联电池之间引入纳米氧化硅薄膜插层，有效地改善了单晶硅底电池的高折射率导致的红外光反射损失，提升了光利用率，增加了单晶硅电池的短路电流密度，改善了顶电池和底电池电流的匹配度，从而显著提升了整个串联电池器件的效率，创造了双端接触钙钛矿/单晶硅串联电池转换效率的新纪录，为制备超越 30% 效率的光伏电池提供了新思路。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》⁹。

（郭楷模）

⁹ Luana Mazzarella, Yen-Hung Lin, Simon Kirner, et al. Infrared Light Management Using a Nanocrystalline Silicon Oxide Interlayer in Monolithic Perovskite/Silicon Heterojunction Tandem Solar Cells with Efficiency above 25%. *Advanced Energy Materials*, 2019, DOI: 10.1002/aenm.201803241

超长循环寿命有机-空气电池谱写空气电池发展新篇章

金属（如钾、钠、锂等）空气电池是一种极具发展潜力的高比容量电池技术，其理论能量密度上限可达 11000 Wh/kg，远远高于传统的锂离子电池，因此得到了学术界和工业界广泛关注。然而，由于存在金属枝晶、空气电极孔道堵塞等问题，导致该类电池安全性和循环寿命不佳，限制了该类电池的实际应用。香港中文大学 Yi-Chun Lu 教授研究团队创造性地设计制备了钾联苯（Potassium Biphenyl）复合有机物，并将其作为负极取代传统的金属负极，与空气电极组成新型的有机-空气电池，有效地解决了传统金属电池安全性和循环周期短的问题，在 4 mA/cm² 高放电电流密度下实现长达 3000 余次的稳定循环，平均库伦效率高达 99.84%，为空气电池开辟全新技术发展路径。由于金属空气电池最主要的不稳定因素在于金属负极，因此关键在于研发替代电极，但作为负极要求材料本身具有良好的氧化还原特性。有鉴于此，研究人员测试了一系列的有机材料氧化还原特性，包括联苯（Bp）、萘（Nap）、三亚苯（Tph）和菲（Pha）。结果显示 Bp 对钾金属（K/K⁺）具有最佳的氧化还原特性，因此设计制备了钾联苯（Potassium Biphenyl, BpK）复合有机物。随后分别以传统 K 金属、BpK 为负极，以溶有六氟磷酸钾的二甲基亚砜（KPF₆-DMSO）为电解质，空气极为正极组装成完整的金属-空气（K-O₂）、有机-空气（BpK-O₂）电池，进行对比研究。在 1.5-3 V 的电压区间、0.2 mA/cm² 放电电流密度下进行恒电流循环测试，结果显示，K-O₂ 电池经过 100 次循环后便失效了，而 BpK-O₂ 电池经过 400 次循环后放电比容量依旧稳定无衰减。而提升放电电流密度到 2 mA/cm²，BpK-O₂ 电池依旧保持稳定循环特性，且库伦效率近 100%；而当电流密度进一步提升到 4 mA/cm² 时，电池仍可稳定循环 3000 余次，且平均库伦效率依旧高达 99.84%，这一结果与已报道的锂离子电池的库伦效率相当，展现出了极其优异高倍率性能和循环稳定性。通过对充放电过程产物测试发现电池性能大幅提升原因在于，一方面独特的有机负极和电解质界面耦合使得放电中间产物只形成 KO₂ 而没有形成 K 金属枝晶，另一方面这种界面作用在充电过程中会将中间产物 KO₂ 有效分解避免了电极活性材料损失。该项研究开创性地制备了钾联苯有机复合物电极，用于取代传统的金属负极，制备了全新的有机-空气电池，克服了金属-空气电池由来已久的金属电极枝晶生长和循环寿命短的问题，从而获得了高安全、高倍率和长寿命的空气电池，为空气电池发展开辟了全新的技术路径。相关研究成果发表在《*Nature Materials*》¹⁰。

（郭楷模）

分子和半导体双 PN 结实现高效稳定 CO₂ 还原制甲酸

¹⁰ Guangtao Cong, Wanwan Wang, Nien-Chu Lai, et al. A high-rate and long-life organic-oxygen battery. *Nature Materials*, 2019, DOI:10.1038/s41563-019-0286-7

利用可再生能源电力来电催化还原 CO_2 制备燃料，不仅有助于应对能源危机，还有助于缓解温室气体效应，从而引起了广泛关注。然而光电极材料催化效率低和稳定性较差严重制约了上述技术的发展。北卡罗来纳大学教堂山分校的 Thomas J. Meyer 教授课题组将分子 PN 结和无机半导体 PN 结进行耦合，设计制备出了分子和无机半导体双 PN 结（PN 结充当光敏单元）电极，两个 PN 结光敏单元可以实现对可见光的互补吸收，从而增强太阳光利用率，产生更多光生电子，实现 CO_2 到甲酸高效催化还原。研究人员利用等离子体辅助分子外延技术在 P 型硅（Si）衬底上生长一层 N 型氮化镓（GaN）纳米线阵列形成 PN 结光电极 Si|n-GaN ，扫描电镜显示纳米线阵列的平均长度和直径分别为~300 nm 和~35 nm。随后采用原子沉积技术在纳米线阵列上沉积一层氧化镍（NiO）薄膜，接着对电极进行官能化处理使其带上具有锚定羧基团功能化的官能团 $\text{NPhN}(X=1,2,3,4)$ （数值不同意味分子结构不同），最后在官能团分子链端链接上钌金属催化剂（RuCt）形成 $\text{Si|n-GaN|NPhN}_x+\text{RuCt}$ 复合电极。由于分子 PN 结和半导体 PN 结带隙宽度不同，两种 PN 结可以形成互补的光吸收，有助于提升光吸收利用。随后将其作为催化电极进行电化学性能测试。实验结果发现随着半导体 PN 结和分子 PN 结光吸收效率比值 $\eta(\text{S})/\eta(\text{A})$ （前者为半导体 PN 结吸收效率，后者为分子 PN 结）发生变化时，催化还原的产物就会出现变化，当 $\eta(\text{S})/\eta(\text{A})$ 从 4.8 增加到 15 的时候，甲酸产量会减少氢气产量会增加，即存在催化裂解水和催化还原 CO_2 竞争反应。因此研究人员对上述新型的电极分子和半导体组分进行优化以降低裂解水产氢竞争反应，在 CO_2 饱和的碳酸氢钠溶液中，外加 -0.15V 偏压、一个模拟太阳光连续 20 小时的辐照情况下，含有 NPhN_4 分子的光电极可以在 -1.1 mA/cm^2 稳定光电流密度下将 CO_2 高效催化还原为甲酸盐，且法拉第效率可达 64%。研究人员指出，上述分子-半导体双 PN 结之所以能够实现高效催化 CO_2 还原成甲酸主要原因有：一方面两种 PN 结的存在（两者之间的电势差促使电子空穴有效分离）延长了光生电荷和空穴的空间距离，有效抑制了复合，有助于催化还原反应进行；另外两种 PN 结具有互补的光吸收特性，大大提升了太阳光的利用率。该项研究设计制备了多 PN 结组合的催化电极，实现了互补的光吸收，有效的空穴电荷分离转移，从增强了 CO_2 催化还原的特性，为 CO_2 催化转化成燃料或者高价值化学品提供了一种非常有前景的技术途径。相关研究成果发表在《*Nature Energy*》¹¹。

（刘竞 郭楷模）

双功能局部高浓度电解液增强锂硫电池循环稳定性

锂硫电池质量轻、环境友好、储量丰富、价格低廉而且具有很高的理论容量和比能量密度，作为新一代储能器件引起广泛关注。然而锂枝晶和多硫化物穿梭效应

¹¹ Bing Shan, Srinivas Vanka, Ting-Ting Li, et al. Binary molecular-semiconductor p-n junctions for photoelectrocatalytic CO_2 reduction. *Nature Energy*, 2019, DOI: 10.1038/s41560-019-0345-y

使得该类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。马里兰大学 Chunsheng Wang 教授研究团队使用高氟化度的共溶剂对高浓度电解质（HCE）系统进行稀释，制备出了一种新型的局部高浓度电解质（LHCE），展现出抑制锂枝晶生长以及多硫化物的穿梭效应双重功能，大幅增强了电池的循环稳定性。研究人员将乙二醇二甲醚（DME）和 1H, 5H-八氟戊基-1,1,2,2-四氟乙基醚（OFE）按照不同比例混合（OFE/DME 体积比为 50:50、85:15 和 95:5，对应电解质分别命名为 OFE50、OFE85 和 OFE95），并将适量的双（氟磺酰）亚胺锂（LiFSI）盐溶于混合溶剂配成 1 mol/L 的 LHCE。系统研究了不同电解质组成对离子电导率、Li⁺ 转移数和粘度的物理化学性质影响。实验结果显示，随着 OFE 的比例增加，离子电导率降低而锂离子迁移数增高，同时电解液黏度有所下降，主要原因是锂盐难溶于 OFE，相同体积溶液中电荷离子数随 OFE 比例的增加而减小。表明了 OFE 与锂离子的亲和力小，难以形成配合物，意味着电解液内部 LiFSI-DME 的配合物会更加稳定，使得这种 LHCE 电解液保持与高浓 LiFSI-DME 电解液相似的溶剂-溶质结构，即保持了类似的电化学特性。随后将上述电解液应用于锂硫电池并进行 100 mA/g 的放电电流密度下电化学循环测试。实验发现，基于 OFE95 电解质性能最优，循环 150 周后仍有 775 mAh/g 的比容量，平均库伦效率高达 99.2%，远高于同样循环测试条件下的 OFE50（314 mAh/g）和 OFE85（633 mAh/g）两种电解质电池。随后将放电电流密度提升至 2A/g 和 4A/g，OFE95 电解质电池依旧可以获得 402 和 223 mAh/g 放电比容量，表现出优秀的高倍率性能。为了探究电池性能改善的潜在缘由，研究人员进一步对循环后的电池拆解并对电极进行扫描电镜表征。结果发现，在 OFE95 电解质中 Li 金属电极表面循环前后基本没有变化仍然呈现光滑表面形态，但是在 OFE85、OFE50 电解质中的 Li 金属表面上可以明显观察到一些微小的 Li 枝晶生长，证明在 OFE95 电解质中形成了稳定的 SEI 薄膜成功地抑制了 Li 枝晶形成。此外，对多硫化物 Li₂S₈ 在不同溶剂中的溶解性进行研究发现，随着 OFE 比例增加，其溶解性越来越小。即通过将惰性 OFE 共溶剂引入 LiFSI-DME 电解质中，逐步控制多硫化物的溶解，有效抑制了穿梭效应。该项研究采用高氟化度的溶液对高浓度电解质进行稀释，制备了新型的局部高浓度电解质，有效地克服了锂枝晶生长和多硫化物的穿梭问题，从而获得了高倍率和良好循环稳定性的锂硫电池，为设计高性能长寿命锂硫电池提供了全新的技术路径。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》¹²。

（周斌 郭楷模）

¹² Jing Zheng, Guangbin Ji, Xiulin Fan, et al. High-Fluorinated Electrolytes for Li-S Batteries. *Advanced Energy Materials*, 2019, DOI: 10.1002/aenm.201803774

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

