

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- BP：全球能源需求依旧旺盛 能源低碳转型道阻且长
- IEA：核能将在全球能源转型中扮演关键角色
- 美国国务院发布能源资源治理倡议
- DOE 投入 4930 万美元支持先进核能技术开发
- IEA：2018 年天然气需求猛增 未来五年将继续增长

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

BP: 全球能源需求依旧旺盛 能源低碳转型道阻且长2
IEA: 核能将在全球能源转型中扮演关键角色7
美国国务院发布能源资源治理倡议9

项目计划

DOE 投入 4930 万美元支持先进核能技术开发 10
DOE 资助 800 万美元支持改善能源基础设施弹性技术研究 12
DOE 资助 540 万美元开展先进涡轮机技术研发 13

前沿与装备

器件升温和过量载流子导致光诱导钙钛矿电池性能下降 14
层状三元金属氢化物电极显著提升柔性电容性能 15
人工聚合物固态电解质膜提升硅负极循环稳定性 16
SnS₂ 量子点修饰的 MoS₂ 实现碱性介质环境高效裂解水产氢 17

能源资源

IEA: 2018 年天然气需求猛增 未来五年将继续增长 18

本期概要

英国石油公司 (BP) 发布《世界能源统计年鉴 2019》，总结了 2018 年世界能源发展现状：在天然气和可再生能源需求增长的带动下，2018 年全球能源消费强劲增长 2.9%，是自 2010 年以来的最快增速。全球石化行业强劲发展势头驱动 2018 年全球石油消费增长 1.5%；天然气市场发展势头强劲，消费量大幅增长 5.3%；全球煤炭市场进一步复苏，消费量增长 1.4%；可再生能源（不包括水电）发电同比增长 14.5%。受此影响，全球能源相关的碳排放也强劲增长，创下了近 7 年来的最大增幅。全球能源系统绿色低碳转型进程缓慢，与《巴黎气候协定》承诺的发展目标存在一定差距，能源系统绿色转型任重道远。

国际能源署 (IEA) 发布《清洁能源系统中的核电：低碳发电的关键来源》报告，系统分析了核电的现状及其对能源转型的重要性：核电是当前第二大低碳能源，占全球发电量的 10%，占发达经济体发电总量的 18%，是其最大的低碳发电来源。然而由于政策、经济和监管因素，发达经济体的老化核电厂开始退役。核电在发达经济体的前景不明，发电量可能出现急剧下降，这将威胁能源安全和气候目标。如果政策没有变化，到 2025 年发达经济体核电装机容量将减少 25%，到 2040 年将减少 2/3，将导致 40 亿吨碳排放，影响全能源转型进程。报告为决策者提出了发展核电的八大战略性建议，详见正文。

美国国务院发布《能源资源治理倡议》，指出到 2050 年对关键能源矿产的需求可能增加近 10 倍。为保障能源资源供应安全，美国将促使各国推进能源资源治理原则，分享最佳实践，并鼓励公平竞争。该倡议提出了三个战略目标：(1) 使资源丰富的国家参与能源资源矿产治理；(2) 支持能源矿产弹性供应链；(3) 满足对清洁能源技术的预期需求。详见正文。

美国能源部 (DOE) 宣布在“核能大学计划” (NEUP)、“核科学用户设施” (NSUF) 计划和交叉领域研究计划框架下资助 4930 万美元，支持 58 个先进核能技术项目，以推进核能技术的发展，用于未来清洁、可靠的电力系统。涉及研究领域包括：核燃料循环研究和开发；评估、预测及控制技术；反应堆概念研究、开发与示范；核科学基础设施改进；反应堆升级；核燃料和材料应用；核科学用户设施；交叉领域使能技术。

国际能源署 (IEA) 发布《2019 年天然气市场报告》，总结了 2018 年全球天然气市场发展现状并展望了 2019 至 2024 年的发展趋势：2018 年全球天然气需求增长了 4.6%，是自 2010 年以来增长最快的一年，在全球一次能源消费增量占比达到了 45%，美国和中国是这一增长的主要贡献者。预计未来五年全球天然气需求将以年均 1.6% 的速度增长，到 2024 年全球天然气需求将增长 10% 以上，超过 4.3 万亿立方米。工业仍将是天然气需求增长的主要驱动力，到 2024 年将占全球天然气需求增量的 46%。以中国为主导的亚洲是全球天然气需求增长的关键地区，到 2024 年中国将占全球天然气需求增量的 40% 以上。美国将继续引领全球天然气产量增长，预计到 2024 年美国天然气年产量将超过 1 万亿立方米。

BP：全球能源需求依旧旺盛 能源低碳转型道阻且长

6月11日，英国石油公司（BP）发布《世界能源统计年鉴 2019》¹指出，在天然气和可再生能源需求增长的带动下，2018年全球能源消费强劲增长；受此影响，全球能源相关的碳排放也强劲增长，创下了近7年来的最大增幅。全球能源系统绿色低碳转型进程缓慢，与《巴黎气候协定》承诺的发展目标仍然存在一定差距，能源系统绿色转型任重道远。报告要点如下：

1、概览

2018年，全球一次能源消费强劲增长2.9%（2017年为2.2%），几乎是过去十年平均值（+1.5%）的两倍，是自2010年以来最快增速。所有能源资源消费均出现增长，而且除可再生能源外，其他能源资源的消费增速都超过了过去十年的平均值。其中天然气消费增量最大（+1.67亿吨油当量，同比+5.3%），其次是可再生能源（+7100万吨油当量，+14.5%），石油（+5500万吨油当量，+1.5%）和煤炭（+5300万吨油当量，+1.4%）位列三、四位。就国家而言，中国、美国和印度是去年全球能源需求增长的主要驱动力，三国合计增加的能源消费量占到全球增量的近三分之二。其中美国能源消费需求强劲增长了3.5%，占2018年全球一次能源消费增量的20%，扭转了近10年来下降趋势（过去十年平均增速为-0.4%），创下近30年来的最大增幅，主要原因是去年美国遭受更长的酷暑和严寒季节，导致供暖和制冷的能源需求大幅增长。同期，中国能源消费需求增长了4.3%，略高于过去十年平均值（3.9%），增速有所放缓，主要原因是中国经济结构调整和清洁能源政策大力实施，使得能源密集型产业（如钢铁、水泥等）能源消费显著下降；尽管如此，中国依旧是全球第一大能源消费大国，2018年其能源消费增量占到了全球净增量的三成以上（34%）。全球碳排放量在2018年强劲增长了2%，已经连续两年增长，两倍于过去10年的平均增幅（1%），也是过去七年来最快增速。

从燃料类型来看，2018年石油仍是全球一次能源消费结构中占比最高的燃料来源，其占比超过三分之一达33.6%，煤炭消费占比下滑至27.2%，天然气占比上升至23.8%，水电占比6.8%，非水电可再生能源增长强劲，在一次能源消费中占比达4%，创历史新高（图1）。

¹ BP Statistical Review of World Energy 2019.

<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stat-review-2019-full-report.pdf>

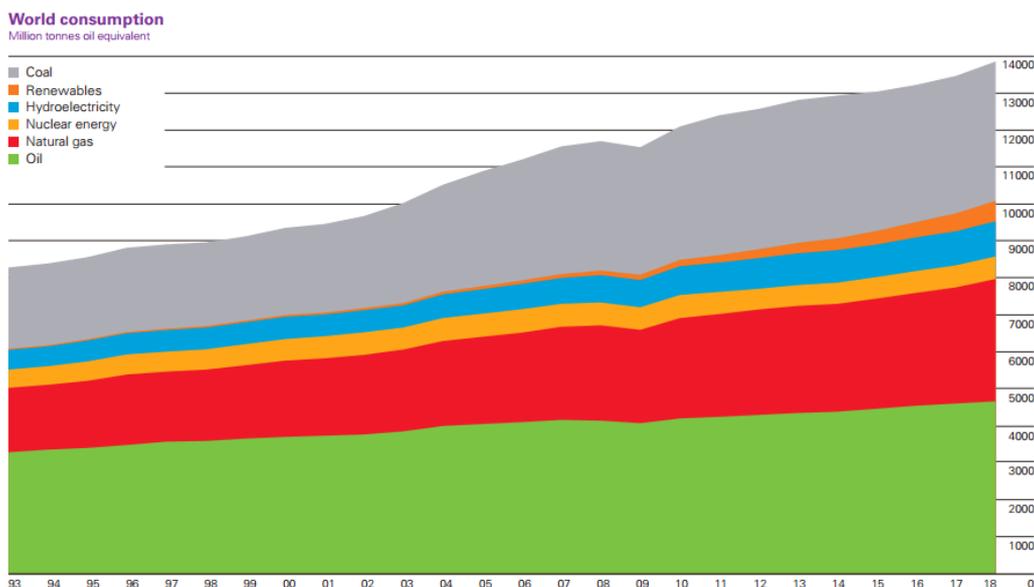


图1 1993-2018 年全球不同能源资源消费量变化态势（单位：百万吨油当量）

2、石油

全球石化行业强劲发展势头驱动 2018 年全球石油消费增长，日均消费增加 140 万桶，同比增长 1.5%，高于过去十年的平均水平（1.2%）。石油需求上涨驱动力主要来自发展中国家（如中国、印度）强劲的石油需求。其中，中国增长最为强劲，达 70 万桶/日，同比增幅 5.3%，高于过去十年的平均增幅（5.1%）。同期印度石油消费需求增长了 30 万桶/日，同比增幅 5.9%，同样高于其过去十年平均 5% 的增幅。上述两国合计贡献了全球近三分之二的石油消费增量。美国是 2018 年最大的一个意外，其石油消费需求强劲增长了 2.5%，达 50 万桶/日，扭转了过去十年（平均增幅为-0.4%）下降态势。

在供应方面，2018 年全球石油生产量增长了 221.6 万桶/日，同比增幅 2.4%，两倍于过去十年的平均水平（1.2%）。几乎所有的净增长都来自美国，其 2018 年的产量大幅增长 16.6% 达到了创纪录的 220 万桶/日，比过去十年平均水平（6.7%）的两倍还多，也是迄今为止单个国家录得的最大年增量。同期 OPEC 组织的石油产量减少了 30 万桶/日，其中委内瑞拉和伊朗减产最为显著，分别减少 60 万桶/日和 30 万桶/日。2018 年炼油厂的产量增加了 96 万桶/日，但少于 2017 年的增幅（150 万桶/日），尽管增幅放缓，但炼油厂的平均产能利用率已攀升至 2007 年以来的最高水平。

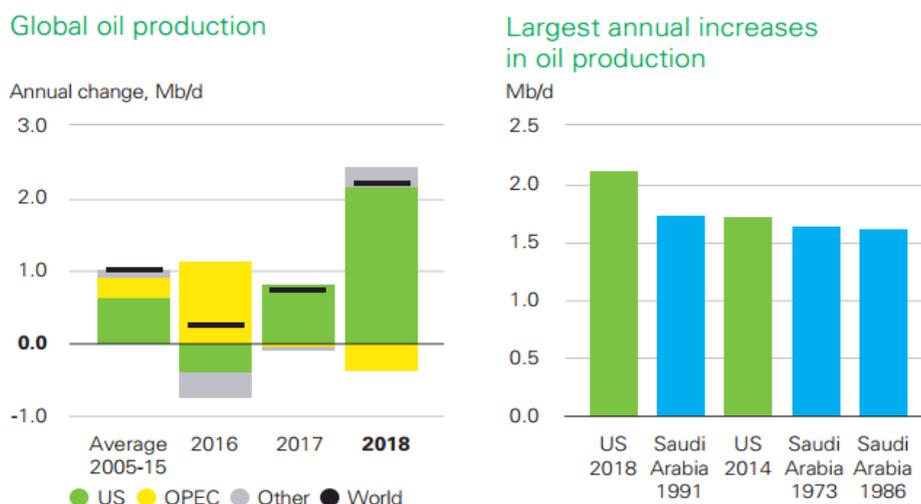


图2 2016-2018 全球石油产量变化态势(左图)和 1973-2018 单个国家录得最高增产量变化(右图) (单位: 百万桶/日)

3、天然气

2018 年天然气市场发展势头强劲, 无论是产量还是消费量都获得了大幅度的增长。其中消费量大幅增长了 1950 亿立方米, 同比增长 5.3%, 创下自 1984 年来的最大涨幅。主要的增长动力来自北美地区 (868 亿立方米, +9%)、亚太地区 (570 亿立方米, +7.4%) 和中东 (261 亿立方米, +4.9%)。就国家而言, 美国天然气消费增长最为强劲, 去年天然气消费量大幅增长 780 亿立方米, 涨幅超过 9.3%, 占同期全球天然气消费增量的 40%。紧随其后的是中国, 消费量增长了 430 亿立方米, 同比增幅 17.7%。俄罗斯和伊朗分别以 230 亿立方米(+5.4%)和 160 亿立方米(+7.4%) 位列三、四位。

与消费需求增长类似, 2017 年全球天然气产量也呈现强劲的上漲态势, 增加了 1900 亿立方米, 同比增长 5.2%, 比过去十年平均值 (+2.3%) 两倍还多。其中, 美国的天然气产量飙涨 860 亿立方米, 同比增幅 11.5%, 成为全球天然气增量最大的国家, 也是迄今为止单一年份国家录得的年增量最大值; 俄罗斯、伊朗和澳大利亚分别以 340 亿立方米、190 亿立方米和 170 亿立方米分列二到四位。2018 年全球 LNG 供应持续快速扩张, 增长了 370 亿立方米, 主要的增长动力来自澳大利亚 (150 亿立方米)、美国 (110 亿立方米) 和俄罗斯 (90 亿立方米) 三个国家, 合计占到全球 LNG 供应增长的近 95%。得益于上述扩张, 全球天然气区域间的贸易量增长了 390 亿立方米, 同比增幅 4.3%, 比过去 10 年平均水平 2 倍还多。2018 年, 全球天然气已探明可采储量增加了 0.7 万亿立方米至 196.9 万亿立方米, 其中俄罗斯 (38.9 万亿立方米)、伊朗 (31.9 万亿立方米) 和卡塔尔 (24.7 亿立方米) 是全球探明储量最多的三个国家。

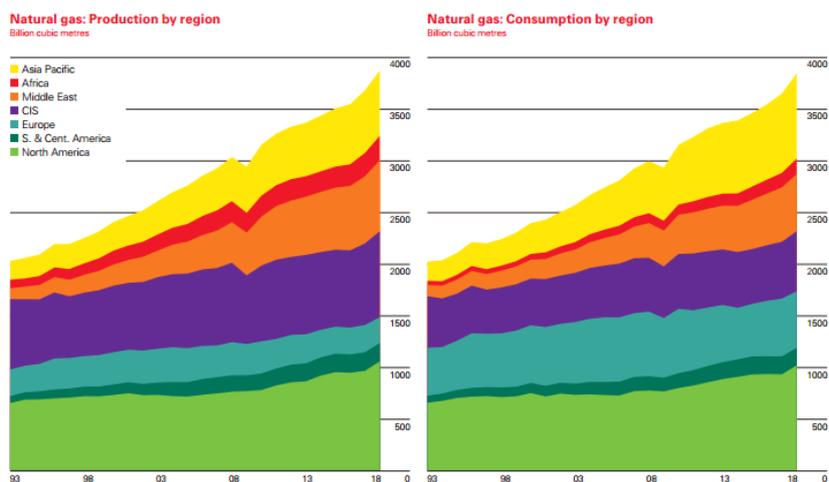


图3 1993-2018 年全球不同地区天然气产量和消费量变化态势（单位：十亿立方米）

4、煤炭

2018 年全球煤炭市场进一步复苏，产量和消费量均连续第二年增长。其中煤炭消费量增长了 5370 万吨油当量，同比增长 1.4%，是自 2013 年来最大增幅。亚太地区是消费上涨的主要推动力量，其中印度消费量增长最多，达 3600 万吨（+8.7%），其次是中国为 1600 万吨（+0.9%），两国合计占到全球净增量的近 97%。而 OECD 国家的煤炭消费需求再次下降 3160 万吨油当量至 8.61 亿吨，是 1975 年以来的最低水平，连续第 5 年消费量下滑。

受到中国(8200 万吨油当量，+4.7%)和印度尼西亚(5100 万吨油当量，+18.9%)煤炭产量增长的驱动，全球煤炭产量大幅增长 4.3%（1.6 亿吨油当量），创下了 2011 年以来的最大增幅。截至 2018 年底，全球已探明煤炭储量为 1.055 万亿吨，主要集中在美国（24%）、俄罗斯（15%）、澳大利亚（14%）和中国（13%）等几个国家。全球煤炭进口量在 2018 年增长了 6.5%，是 2013 年以来的最高水平。中国是世界上最大的煤炭进口国，2018 年煤炭进口量同比增长 4.6%；印度是世界第二大煤炭进口国，2018 年煤炭进口量同比增长 25.5%。

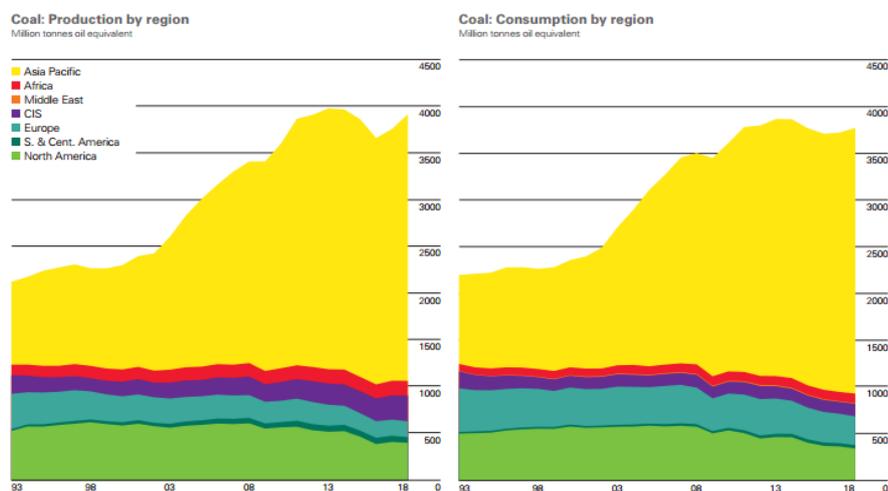


图4 1993-2018 年全球不同地区煤炭产量和消费量变化态势（单位：百万吨）

5、核能与可再生能源

2018 年，得益于中国（+18.8%）和日本（+68.7%）核电强劲增长的驱动，全球核能发电量增长了 2.4%，远远高于过去十年的平均增幅（-0.4%），使得核电在全球一次能源消费中的占比达到了 4.4%。

得益于欧洲地区水电产量增长(3.1%)的影响,2018 年全球水电产量增长 3.1%，连续第二年增长。非水电可再生能源发电同比增长 14.5%，略低于过去十年平均值（16.4%）。风能依旧是非水电可再生能源发电的最大来源，2018 年风能提供全球可再生能源增量的 45%。而太阳能则为全球可再生能源贡献了近 40%的增量。2018 年，中国可再生能源增量达到创纪录的 3200 万吨油当量，占全球可再生能源净增量的 45%，牢牢占据全球第一大可再生能源发电国位置。

6、电力

2018 年全球发电量增长 3.7%，高于过去十年平均水平（2.5%），增长主要来自中国、印度和美国三个国家，其中仅中国就贡献了一半的净增量。

2018 年，非水电可再生能源继续保持强劲增长势头，提供了全球发电量增量的三分之一，其中风电增长 12.6%（83.5 TWh）、光伏增长 28.9%（87 TWh）。可再生能源强劲增长使其在全球发电量中的占比攀升到了 9.3%。尽管可再生能源发展迅猛，但电力主体来源还是煤炭，其在全球电力中的份额高达 37.9%，相当于天然气发电（23.2%）和水电（15.8%）之和。

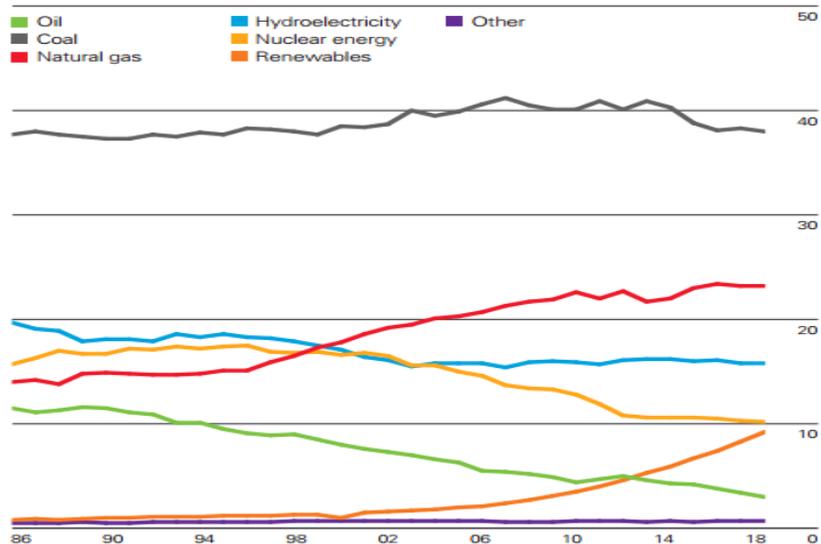


图 5 1986-2018 年全球不同电力资源发电量占比变化态势

7、关键矿物

2018 年，钴和锂的产量分别增长了 13.9%和 17.6%，远远超过了近十年的平均增长率（前者为 7.5%，后者为 6.6%）。其中钴价格上涨 30%，达到 2008 年以来的最高水平，而碳酸锂价格则上涨 21%，再创新高。

（丁华琪 郭楷模）

IEA：核能将在全球能源转型中扮演关键角色

5月28日，国际能源署（IEA）发布《清洁能源系统中的核电：低碳发电的关键来源》报告²指出，核电在发达经济体中的发展前景不明朗，发电量可能出现急剧下降，这将威胁能源安全和气候目标。核电是当前第二大低碳能源，占全球发电量的10%，然而由于政策、经济和监管因素，发达经济体老化核电厂开始逐步退役。如果政策没有变化，到2025年发达经济体核电装机容量将减少25%，到2040年将减少2/3，这将导致全球增加40亿吨碳排放。报告认为，核电能够为全球能源转型做出重要贡献。针对选择保留核电的国家，IEA为决策者提出了八大战略性建议。报告具体内容如下：

一、全球核电现状

1、核电将在全球清洁能源转型中发挥关键作用。2018年核电占全球发电总量的10%。截至2019年5月，全球31个国家共有452座核电反应堆投入运行，总装机容量约为400 GW。核电占发达经济体发电总量的18%，且是其最大的低碳发电来源，过去50年中贡献了一半的低碳电力。然而，由于发达经济体的核电设施逐渐老化退役，新建核电容量逐年减少，核电在全球电力供应中占比逐年下降。尽管风能和太阳能大幅增长，由于核电的衰退，2018年清洁能源在电力供应中占比仅为36%，与20年前水平相同。全球能源系统的转型以电力系统为基础，要实现可持续发展情景目标，清洁电力的发展要比目前快三倍，到2040年，清洁电力占比需从当前的36%增加至85%。核电是低碳电力不可或缺的部分，到2040年核电的发电量需增加80%。此外，核电还有助于维持电网的稳定。

2、延长核电站运行寿命对能源转型重回正轨至关重要。目前发达经济体核电站的平均运行寿命是35年，欧盟和美国拥有全球最大规模的在运核电站（超过100 GW），其核反应堆的平均运行时间分别为35年和39年，而通常核电站的设计寿命为40年，发达经济体约有1/4的核电机组将在2025年前关闭。政策和监管框架决定了核电机组的命运，如对现有机组延长寿命的许可。此外，经济因素也起到一定作用，延长核电机组寿命所需成本比新建机组要低得多，但较低的批发电价和碳价以及反应堆冷却水的环境监管新规导致的冷却水系统升级，增加了核电站的经济压力，大多数发达经济体的核电站都有提前关闭的风险。

3、新核电项目投资阻碍过大。新建大型核电项目面临一系列投融资问题，包括前期投资过大、交付周期过长，施工问题、延误和成本超支，以及政策和电力系统结构的变动带来的风险，增加了投资回报的不确定性。

二、发达经济体核电的经济性

1、延长核电站运行寿命有助于提高核电的竞争力。在许多情况下，与新建其他

²Nuclear power in a clean energy system: A key source of low-carbon power. <https://www.iea.org/publications/nuclear/>

低碳发电机组相比，获得监管机构的授权以延长核反应堆运行寿命所需的投资更具经济性，能够使核电在电力市场具有竞争力。

2、影响核电收益的主要因素。电力行业的市场状况，尤其是发达经济体的市场状况近年来发生了显著变化，体现在：电力需求增长放缓，近年来大多数发达经济体的用电量基本保持不变甚至出现下降，2010年至2017年间，其电力需求平均每年增长0.3%，不到前十年的三分之一；可再生能源发电量迅速增加（尤其是风力发电和太阳能发电）挤占了市场份额，并压低了批发电价；美国等市场天然气价格的降低对核电经济性也有影响；碳价仍然过低，不足以提振核电的经济性。上述四个因素导致所有拥有核电厂的发达经济体市场的批发电价下降，影响了核电的收益。

三、核电衰退的影响

1、减少核电投资将导致能源转型更为困难。IEA根据各国现有和计划实行的政策（即“新政策情景”）预测，2018至2040年期间，核能发电量年均增速预计为1.5%，其在发电总量中的份额将从10%略微下降到9%。而在可持续发展情景下，核电的作用则更为重要：到2040年，核电发电量年均增速将达到2.8%，其在电力结构中的份额将达到13%。假设除了已经在建项目外，不再新建核电站，也不对现有核反应堆进行投资以延长寿命，发达经济体的核电装机容量将从2018年的282 GW减少到2040年略高于90 GW，下降约三分之二。欧盟的下降最多，超过100 GW，其在运行的126座反应堆有89座将于2030年退役，到2040年，现有的反应堆中将只有15座在运行，其中有4座是当前在建的反应堆。美国几乎所有在运行机组都已延长了20年寿命，但到2040年其核电装机容量也预计减少大约一半。根据新政策情景的目标，核电衰退导致发电量的下降需要化石燃料和可再生能源来补充，到2040年天然气等化石燃料将占发电量净增量的60%，风能和太阳能则占剩余大部分。天然气将成为最大的电力来源，占电力结构的30%。发达经济体由此而增加的用于发电的天然气消耗将占天然气总消耗量的4%。到2040年，二氧化碳累计排放量将增加近40亿吨，使得实现碳排放目标更为困难。为了抵消核电退役机组而新建的发电机组和电网基础设施建设将使投资需求增加近3400亿美元。未来二十年需要新建的光伏和风能发电容量将接近过去二十年的五倍，这需要克服更多非市场障碍，如公众的接受及相关的电网基础设施改造。另外，核电有助于集成波动性可再生能源，核电的衰退将降低电力系统灵活性。

2、增加可再生能源发电以弥补核电缺口将导致更高成本。如果任由核电衰退，2018年到2040年发达经济体电力部门将需要增加约1.6万亿美元的低碳电力投资，这是由于增加新的可再生能源发电机组比延长现有核电机组寿命的投入更高，扩展输电网络和升级现有电网线路也会导致成本增加。而在运营方面，核电燃料成本很低，运营和维护成本占比也很小，取消核电并不会节省多少运营成本。因此，如果

不延长现有核电站寿命或新建核电站，发达经济体的电力供应总成本每年将平均增加近 800 亿美元。

四、发展核电的战略性建议

针对选择保留核电的国家，IEA 为决策者提出了八大战略性建议，包括：

(1) 保持核电选择权：尽可能安全地授权现有核电站的寿命延长许可。

(2) 确保核电在电力市场的价值：设计电力市场以确保包括核电厂能够以有竞争力和公平的方式得到财政补贴。

(3) 重视非市场效益：与其他低碳能源建立公平的竞争环境，以确认核电的环境效益和能源安全效益能够得到体现。

(4) 更新安全法规：必要时更新安全法规，以确保核电厂的持续安全运行，在技术可行的情况下能够提供辅助服务以提升电网灵活性。

(5) 建立有吸引力的融资框架：建立风险管理和融资框架，以撬动更多企业资金，同时考虑核能项目的风险状况和长期评估。

(6) 支持新核电站的建设：确保许可流程不会导致项目延迟和成本增加，支持新反应堆技术的标准化建设工作，并不断总结经验。

(7) 支持新型反应堆设计：加快新型反应堆设计创新，例如小型模块化反应堆（SMR），此类技术能够降低资本成本，缩短交付周期，提高核电厂运行灵活性，促进风能和太阳能的集成。

(8) 维护人力资本：保障和发展核电人力资本及项目管理能力。

（郭家慧 岳芳）

美国国务院发布能源资源治理倡议

6 月 11 日，美国国务院发布《能源资源治理倡议》³，旨在促进采矿部门管理和完善灵活的能源矿产供应链。倡议指出，对可再生能源、电动汽车和电池存储技术的需求日益增长，将导致对能源矿产前所未有的需求增加。通过发布上述倡议，美国将促使各国推进治理原则，分享最佳实践，并鼓励公平竞争。该倡议提出了三个战略目标：

1、使资源丰富的国家参与能源资源矿产治理

到 2050 年，对关键能源矿产的需求可能增加近 10 倍，许多国家增加供应的能力将不足。因此，该倡议将采取三方面措施：（1）分享矿产管理和治理的最佳实践，以促进市场开放和透明；（2）鼓励更多私人投资，推进先进的采矿技术发展和工作流程完善；（3）促进负责任和可持续的采矿实践。

2、支持建立灵活的能源矿产供应链

³ Energy Resource Governance Initiative. <https://www.state.gov/energy-resource-governance-initiative/>

稀土元素是电动汽车和风力涡轮机部件的重要原料，全球供应链超过 80% 由一个国家控制，其他矿产也面临类似的供应限制，对任何一种能源的依赖都会增加供应中断风险。因此，该倡议将采取三方面措施：（1）确定供应链有多样化的选择；（2）促进贸易创新发展和产业链发展；（3）优化整合提升供应链灵活性。

3、满足对清洁能源技术的预期需求

全球每年对矿产密集型可再生能源发电和电池存储技术的投资比对化石燃料发电投资超出一倍以上。该倡议将采取三方面措施：（1）鼓励发展融资和出口信贷机构，以支持负责任和可持续的采矿项目；（2）促进资源调查以了解能源矿产前景；（3）可再生能源需求快速增长，能源矿产资源丰富国家可能因矿产资源治理能力不足而产生负面影响。

（岳芳）

项目计划

DOE 投入 4930 万美元支持先进核能技术开发

6 月 27 日，美国能源部（DOE）宣布在“核能大学计划”（NEUP）、“核科学用户设施”（NSUF）计划和交叉领域研究计划框架下资助 4930 万美元⁴，向美国 25 个州的 58 个先进核能技术项目提供资助，旨在推进核能技术的发展，用于未来清洁、可靠的电力系统。详细内容如下：

一、核能大学计划

1、核燃料循环研究和开发。 DOE 将资助 750 万美元支持 10 个研究项目，主要包括：铀和钍在先进核燃料分离过程中的形态和行为；捕获放射性有机碘的金属功能化膜；基于远程激光的事故容错型核燃料包层辐照后监测的无损评估；辐射引起先进核燃料的膨胀研究；纳米/显微压痕对先进核反应堆结构合金蠕变行为的高通量评估；中子辐照后的复合合金的蠕变测试仪；利用爱达荷国家实验室的瞬态反应堆试验设施（TREAT）测量辐照金属燃料的导热性能；中子辐照对锆（锆合金）与铬之间元素扩散行为的影响研究，以精确预测事故容错型核燃料寿命；熔盐反应堆核材料核算方法的建模与不确定性分析；大气环境中焊接不锈钢干燥储存罐的点蚀和应力腐蚀开裂的模型开发和实验验证。

2、评估、预测及控制等。 DOE 将资助 400 万美元支持 7 个研究项目，主要包括：先进反应堆中子热化积分基准的开发和评估；改进铅同位素核数据评估以支持下一代铅冷快堆；开发后分层分析模型促进新型核技术的选址匹配；开发网络攻击

⁴ Energy Department Invests Nearly \$50 Million at National Laboratories and Universities to Advance Nuclear Technology. <https://www.energy.gov/ne/articles/energy-department-invests-nearly-50-million-national-laboratories-and-universities>

监测平台用于监控数字仪器和控制系统；核能混合能源系统的负荷预测软件推广；开发多时间尺度核能-可再生能源混合能源系统运营框架；通过积分基准实验结果评估核数据并提高建模和模拟工具的预测准确性。

3、反应堆概念研究、开发与示范。DOE 将资助 400 万美元支持 7 个研究项目，主要包括：用于熔盐反应堆的镍基氧化物弥散强化合金；多尺度工具增强混凝土的矿物学表征；大区域全景拼接成像技术用于核反应堆环境模拟，以评估辐照后混凝土物理性质和化学耐久性变化；焊接辐照金属中氦气泡生长模型的仿真和实验验证；高温气冷堆专用的电抗器半自主无源控制系统的评估；利用石墨指数堆示范反应堆自主控制框架；利用激光粉末床熔融增材制造方法生产抗辐射通道/孔嵌入结构，用于极小模块化反应堆热交换器；基于机器学习的熔盐热力学、结构和动力学计算研究及实验验证；基于实验室和同步加速器结合预测模型，确定熔盐电解质的结构和形态；液态金属冷却快堆仪表技术开发；铅和铅-铋共晶的同步腐蚀/辐照测试；高温气冷堆建筑对主冷却剂边界破裂响应的研究；氟盐冷却高温堆卵石形燃料储存和处理；燃料盐采样和浓缩系统开发；熔融氟盐流动循环中 316 不锈钢的腐蚀和侵蚀的原位分析与量化；新型熔盐反应堆机械过滤器的设计研究；数字仪表与控制的故障触发设计评估方法；核反应堆设备和部件的自主或半自主破坏监测工具；开发综合概率风险评估决策算法和计算平台，为部署新型核技术制定安全且具有成本效益的决策；经济风险指引维护和资产管理；铅冷快堆用液态金属测试设备；通过微加工和显微镜拉伸测试表征三结构同向性型（TRISO）包覆颗粒和界面强度；高温气冷堆管道破裂后反应腔中氦气与空气的混合测试。

4、科学基础设施改进。DOE 将资助 135 万美元支持 5 个项目，主要关注：NuScale 小型模块化反应堆模拟器；高熵合金的高通量材料表征和辐照研究设施；高空间分辨率光致发光和拉曼光谱分析及成像系统。

5、反应堆升级。DOE 将资助 33 万美元支持 2 个项目：更换俄亥俄州立大学反应堆控制棒驱动系统；里德学院反应堆基础设施升级。

二、核科学用户设施

该计划框架下，DOE 将支持 6 个核燃料和材料应用项目。其中，2 个大学主导项目和 1 个国家实验室主导项目将获得共计 150 万美元资助，重点关注：将蓝宝石光纤用于高温辐射环境分布式温度测量的测试和表征；用于先进核反应堆的激光光谱传感器光学元件辐射损伤对其性能的影响；电子束焊接粉末冶金-热等静压压力容器用钢的辐照研究。另外 3 个产业界主导项目（未公布资助金额）将进行如下研究：商业压水堆围板螺栓（中子辐照 347 型钢）的辐照促进应力腐蚀开裂研究；Nuscale 电力公司小型模块化反应堆材料辐照和测试；高通量同位素反应堆微型燃料胶囊碳化铀（UCO）和二氧化铀（UO₂）芯核的 TRISO 燃料颗粒的高功率辐照测试。上

述 6 个项目还将获得超过 1000 万美元的设施接入资金支持，其中有 2 个项目将另外获得 300 万美元的资金支持。

三、交叉领域研究计划

该计划框架下为 5 个项目资助共 450 万美元，开展使能技术研究，主要包括：用于经济型核反应堆 91 级钢组件的激光增材制造；先进核反应堆风险指引自主运行设计；集成在线监控和诊断进行成本效益分析；声光智能多模态传感器用于先进反应堆监测和控制；现场工作人员的实时安全信息显示。

(岳芳)

DOE 资助 800 万美元支持改善能源基础设施弹性技术研究

5 月 9 日，美国能源部 (DOE) 宣布资助 800 万美元用于提高能源基础设施可靠性和弹性的创新技术研究⁵，旨在开发广泛应用于能源部门的下一代工具和技术，以降低网络事件破坏能源系统的安全风险，所述能源系统包括发电和输配电系统，以及石油和天然气的生产、精炼、储存和分配系统。本次资助着重关注三大技术主题，包括：实时入侵检测、自我修复能源输送控制系统和提高能源部门网络安全的创新技术。具体内容参见表 1。

表 1 改善能源基础设施弹性技术研究项目具体内容

技术主题	具体内容
实时入侵检测	研究、开发和示范实时检测和响应网络入侵活动的技术，如量子密钥分配，根据能源系统基础设施运营要求定制
自我修复能源输送控制系统	研究、开发和示范能够在硬件、固件或软件级别自动减少能源输送控制系统或组件中易受攻击面的技术。开发的工具或技术将能够自动识别破坏能源输送的网络攻击，如通过人工智能方法（如机器学习），利用能源传递的基础物理过程产生的数据，识别出入侵行为引起的运行偏离
提高能源部门网络安全的创新技术	开发实施国家网络战略目标的工具或技术，以确保关键基础设施的安全，特别是能源和电力基础设施。研发一种工具或技术，提供运营技术 (OT) 设备或系统，能够自动识别网络攻击并调整操作以维持关键运行，同时做出响应缓解攻击，以降低网络风险

(岳芳)

⁵ Department of Energy Announces \$8 Million in Funding for Energy System Resilience.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-8-million-funding-energy-system-resilience>

DOE 资助 540 万美元开展先进涡轮机技术研发

6月20日，美国能源部（DOE）宣布在“大学涡轮机系统研究（UTSR）”计划框架下资助 540 万美元，支持大学主导的先进涡轮机技术研发⁶，旨在开发更高效涡轮机技术，提升燃烧效率，进而提升基于涡轮机动力系统的化石燃料发电厂的发电效率，减少能耗和排放，实现美国化石能源的可持续利用。本次资助主要聚焦五大主题，具体内容参见表 1。

表 1 先进涡轮机技术研发资助项目具体内容

主题	具体内容	资助金额/ 万美元
旋转爆轰发动机	开发低损耗全轴向喷射的旋转爆轰发动机（RDE）概念原型，用于使用天然气/合成气混合燃料的发电系统；在固定和瞬态工作条件下，获得 RDE 的稳定性和可操作性性能特征，并确定满负荷运行的性能指标；通过诊断技术和物理建模，开发性能量化指标，以及实现对性能损失机制定量描述	80
热流涡轮机先进材料开发	<ul style="list-style-type: none"> • 加深对热流涡轮发电机的陶瓷基复合材料损伤和材料退化机制的研究，开发材料退化和寿命预测的多尺度仿真平台，探明在涡轮机环境下非线性温度和时间相关的材料氧化损伤、性能衰退机制 • 开发陶瓷基复合材料涡轮转子叶片 3D 打印制造技术，使用预先浸渍有陶瓷纤维长丝的聚合物前体为原材料，制造出具有内部冷却特性的陶瓷基复合材料涡轮转子叶片，使其能够承受 3100 华氏度高温 	160
热流涡轮机先进制造技术开发	<ul style="list-style-type: none"> • 利用机器学习方法，分析原位监测、仿真模拟和现场表征获得的 3D 打印制造的热流涡轮机关键金属组件的质量性能数据，在此基础上开发出一套热流涡轮机金属组件高效质量保障分析工具 • 利用 3D 打印制造技术生产出传统制造工艺无法制造的具有更优冷却功能的复杂结构涡轮机部件，实现涡轮叶片冷却结构设计优化，提升叶片的冷却效率 	160
超临界 CO ₂ 动力循环基础研究	开发先进的模型用于富氧燃烧和超临界二氧化碳动力循环的大涡模拟研究，以指导超临界 CO ₂ 动力循环的实际设计和制造	80
配有大规模储能设施的化石燃料发电系统	开发动态模型来模拟研究配备不同储能设施的化石燃料发电厂的技术-经济性，以选择最有前景的储能技术，最大限度地降低配备热、化学、机械和电化学储能设施的发电厂平准化度电成本	60

（郭楷模）

⁶DOE Announces \$5.4M for University-Based Research and Development Project Selections.
<https://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-54m-university-based-research-and-development-project-selections>

器件升温 and 过量载流子导致光诱导钙钛矿电池性能下降

短短数年间，有机无机杂化钙钛矿太阳能电池的光电转换效率已经突破 24%，成为了极具发展潜力的新一代薄膜光伏技术。然而器件的长程稳定性（如光照诱导器件性能衰退、湿度不稳定性等）制约了该电池技术的商业化应用，因此探明钙钛矿太阳能电池器件不稳定性（尤其是光照不稳定性）的潜在机制，进行改进以提升器件稳定性是当前的研究热点之一。北卡罗来纳大学教堂山分校 Jinsong Huang 教授课题组系统研究了光照诱导钙钛矿太阳能电池性能衰退的潜在机制，结果显示器件温度上升和过量载流子是导致封装电池器件在光照下性能快速衰退的潜在诱因，为设计开发高效稳定钙钛矿太阳能电池积累了关键的理论知识。研究人员首先通过两步法在导电玻璃衬底上制备了甲基胺铅碘（ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ）钙钛矿薄膜，随后对其进行连续的光照辐射，接着测试样品在光照前后的 X 射线衍射谱，发现光照后 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿薄膜的晶格衍射峰发生了明显的左移，意味着晶格发生了膨胀，并且薄膜的温度也逐步上升。为了探明是器件温度上升还是光照导致晶格膨胀，研究人员将器件置于反复开关的模拟光源下照射，发现非连续的反复开关光照照射对薄膜的 XRD 图谱没有影响，表明了是连续光照引起器件温度上升导致了薄膜晶格膨胀。进一步以上述制备的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿薄膜为光敏层组装成完整的封装钙钛矿太阳能电池器件，并将其置于最大功率点连续光照下运行，研究温度变化对器件性能的影响，实验显示在 60°C 温度下器件在 6 个小时内性能发生了快速衰退，而当将运行温度降低到 20°C 时，器件稳定性提高了 100 倍以上。通过对不同温度下钙钛矿薄膜的 XRD 表征，发现运行温度从 20°C 上升到 60°C 时，晶格膨胀应力逐步减少，但是器件的性能衰减却加快了，表明诱导器件性能衰减的是温度上升而非晶格应变。进一步研究还发现，当维持器件运行温度在 60°C 时，变化光照强度也会影响器件性能衰减，即当光照强度从 0.1 个模拟光源逐步增大到 1 个标准模拟光源时，器件性能衰减会加快，这表明除了温度外，光生载流子（不同光照强度产生不同量的光生载流子）也会影响器件性能稳定性；而且相比短路状态，开路状态下器件性能衰退更快，表明过量载流子也是影响器件性能衰退的潜在关键因素。综上可知，器件温度上升和过量载流子是导致光照下电池器件性能衰退的主要因素，因此研究人员推测适当调低运行温度可以改善器件稳定性。为此，研究人员在 60°C 、1 个标准模拟太阳光照射下运行电池器件，结果显示器件运行 50 小时后性能大幅衰退，仅保持了初始效率的 5%；相反，当器件在 20°C 、1 个标准模拟太阳光照射下运行时，电池可以稳定连续运行 500 余小时，且仍可保持 95% 的初始效率，证实了研究人员的上述推测。该项研究通过对封装的钙钛矿太阳能电池器件性能衰退机制进行系统研究，揭露了器件温

度上升和过量载流子的共同作用是导致器件性能衰退的关键因素，为设计开发高效稳定性的钙钛矿太阳能电池奠定了关键理论知识。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》⁷。

(郭楷模)

层状三元金属氢氧化物电极显著提升柔性电容性能

随着柔性可穿戴电子器件的快速发展，人们对柔性储能器件的需求逐步增加。而柔性超级电容器（超容）作为一类便携式能量储存设备也受到了许多研究者的关注。然而当前商用的柔性超容能量密度较低（小于 10 Wh/kg）无法满足高能量密度的实际需求，因此开发具有高容量、高充放电倍率性能的柔性电极材料极为重要。层状金属氢氧化物（LDH）具有双电层电容和赝电容的储能特性，是一类重要的超容电极材料，如镍钴层状氢氧化物，但其在碱性环境中存在不稳定性，亟需予以解决。新加坡国立大学 John Wang 教授课题组采用简单的水热法制备了一种镍（Ni）、钴（Co）、铝（Al）三元金属复合的层状氢氧化物柔性超容电极材料，通过对 Al 元素含量的优化调节，显著提升了柔性非对称超容的放电比容量和循环稳定性。电容器件经过 15000 次循环后，容量仅衰减不到 9%。研究人员首先将一定比例的氯化镍、氯化钴、氯化铝、氟化铵和氨水混合，与碳布（CC）一起放入水热釜中，在 120°C 的温度下进行水热反应，在 CC 上原位生长了镍钴金属氢氧化物（CC@NiCo₂-OH）柔性电极和镍钴铝三元金属层状氢氧化物（CC@NiCo₂Al_x-LDH，x 是引入的 Al 摩尔比，分别为 0.5、1 和 2）。扫描电镜显示，CC@NiCo₂-OH 是由一维纳米线单元组成，其均匀分散在 CC 上；而添加 Al 元素后的 CC@NiCo₂Al_x-LDH 形貌发生了显著变化，其组成单元从单一的纳米线变成了纳米线和二维纳米片的混合物，且随着掺入 Al 含量的增加，纳米片含量增加，纳米线减少（当 x 大于 2 时，全部转变为纳米片），即 Al 元素会影响电极的形貌和结构。X 射线衍射谱测试显示，CC@NiCo₂-OH 材料为 β 相结构且特征衍射峰较弱，而 CC@NiCo₂Al_x-LDH 特征衍射峰显著增强且逐步转变为 LDH 相，表明引入 Al 元素也能够改善材料的结晶性。接着将上述制备的电极材料置于 0.1 摩尔的氢氧化钾溶液中进行三电极测试，在 0.5 A/g 放电电流密度下，CC@NiCo₂Al_{0.5}-LDH 电极放电比电容为 1137 F/g，远远高于 CC@NiCo₂-OH 的数值（493 F/g），且经过 12000 余次循环容量仅衰减不到 3%，表现出优异的循环稳定性。而当电流密度增大 40 倍到 20 A/g，CC@NiCo₂-OH 电极的放电比电容大幅衰减至 104 F/g，而 CC@NiCo₂Al_{0.5}-LDH 电极依旧可以获得 660 F/g 的比电容，表现出高倍率性能。接着研究人员利用 CC@NiCo₂Al_{0.5}-LDH 电极与碱性电解质和金属有机

⁷ Bo Chen, Jingfeng Song, Xuezheng Dai, et al. Synergistic Effect of Elevated Device Temperature and Excess Charge Carriers on the Rapid Light-Induced Degradation of Perovskite Solar Cells. *Advanced Materials*, 2019., DOI:10.1002/adma.201902413

骨架 ZIF-8 电极组装成非对称的柔性超容器件，并进行电化学性能测试。在 5 A/g 电流密度以及 5 mV/s 扫描速率下进行循环伏安测试，结果显示超容器件在 462 W/kg 的功率密度下具有高达 44 Wh/kg 的能量密度，经过 15000 次充放电循环仍可保持 91.2% 的初始容量值；而且在不同的弯曲角度（45°，90° 和 180°）下测得的比电容分别小幅下降到初始值的 99.2%、97.6% 和 93.6%，显示了良好的柔韧性，有潜力应用于柔性可穿戴电子设备领域。该项研究精心制备了一种新型的三元金属双层氢氧化物柔性电极材料，通过 Al 元素的引入有效地改善了电极比电容和结构稳定性，从而获得了具有高比电容、高倍率性能和长循环寿命的柔性超容器件，为改善柔性可穿戴电子器件储能提供了新的技术方案。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》⁸。

（郭楷模）

人工聚合物固态电解质膜提升硅负极循环稳定性

硅负极 (Si) 的比容量高达 3580 mAh/g，是高能量密度锂离子电池负极的首选，但其在充放电循环过程中存在明显的体积膨胀，导致电极材料破碎并形成不稳定的固态电解质膜 (SEI)，电极的循环寿命受到限制。因此有效抑制硅负极体积膨胀和形成稳定 SEI 膜是该电池技术实现商业化应用的关键所在。美国罗彻斯特大学的 W. E. Tenhaeff 教授课题组在 Si 负极表面沉积一层纳米级聚合物薄膜作为人工 SEI 膜，有效地防止了电解质和 Si 负极的接触，保持了稳定的电极-电解质界面，从而显著提升了硅负极的循环稳定性。研究人员采用化学气相沉积 (CVD) 技术将具有良好离子导电性的聚 (1,3,5,7-四乙烯基-1,3,5,7-四甲基环四硅氧烷) (pV4D4) 均匀沉积在 Si 薄膜电极上，并结合激光干涉测量法实现对沉积的 pV4D4 聚合物薄膜厚度的精确控制 (25 nm)，作为人工 SEI 膜以钝化 Si 表面，减轻了电解质与 Si 负极的接触。通过傅里叶变换衰减全反射红外光谱法 (FTIR-ATR) 对 pV4D4 薄膜进行了定性表征，发现 V4D4 单体和 pV4D4 涂层修饰的硅电极光谱非常相似，说明该单体的化学结构在聚合物薄膜中得到了很大程度的保留。用 X 射线光电子谱 (XPS) 对聚合物膜的组成进行了定量表征，发现 Si 电极的三个峰在薄膜涂覆的样品中消失并只出现了与 pV4D4 相关的新的峰，证明 pV4D4 已经成功包覆住了 Si 负极。接着在 25°C 下，对基于未包覆和包覆 pV4D4 薄膜的 Si 负极纽扣电池进行恒电流循环测试，且以 C/10 电流密度先循环 2 次以形成稳定 SEI 膜，随后以 1C 电流密度进行循环测试，结果显示无 pV4D4 包覆 Si 电极电池首次循环的库伦效率为 64.4%，100 次循环后可逆比容量为 404 mAh/g (初始比容量为 2560 mAh/g)，库伦效率为 93.5%；而 pV4D4

⁸ Xiaorui Gao, Ximeng Liu, Dajun Wu, et al. Significant Role of Al in Ternary Layered Double Hydroxides for Enhancing Electrochemical Performance of Flexible Asymmetric Supercapacitor, *Advanced Functional Materials*, 2019, DOI:10.1002/adfm.201903879

包覆 Si 电极电池首次循环库伦效率增加到了 73.2%，100 次循环后可逆比容量高达 789 mAh/g（初始比容量为 2550 mAh/g），库伦效率为 99.2%。电化学阻抗谱分析显示，无 pV4D4 涂层电极首次循环放电后拟合的表面电阻为 50 欧姆，30 圈循环后电阻增加至 191 欧姆，表明 SEI 不稳定，不断变厚，电解质和电极不断消耗，容量持续损失。而 pV4D4 涂层电极首次循环放电后的电阻为 34 欧姆，表明 pV4D4 包覆后形成了稳定的 SEI 膜，有效地避免了电解质和电极接触和副反应，避免了容量的衰减。该项研究设计制备了人工聚合物 SEI 膜，实现了对 Si 负极表面有效钝化，形成稳定的界面，防止 Si 电极和电解质接触，抑制 SEI 的生长，避免消耗电解质，提升了比容量保持率和库伦效率，为开发高比能长寿命 Si 负极电池提供了新的技术路径。相关研究成果发表在《*Science Advances*》⁹。

（郭楷模）

SnS₂ 量子点修饰的 MoS₂ 实现碱性介质环境高效裂解水产氢

二硫化钼（MoS₂）是非常有前景的非贵金属电催化剂，广泛用于酸性介质中的催化析氢反应（HER），但其缓慢的水解离过程导致在碱性条件下的 HER 反应非常缓慢，使该类催化剂的应用受到了一定限制，因此改善上述催化剂在碱性介质环境中水分子的吸附和解离能力成为该领域的研究热点。澳大利亚伍伦贡大学 Wenping Sun 教授课题组采用湿化学法设计制备了二硫化锡（SnS₂）纳米量子点修饰的 MoS₂/SnS₂ 异质结催化剂，显著增强了催化剂对水分子的吸附和解离能力，从而增强了其催化裂解产氢性能。研究人员采用两步水热反应分别制备了 MoSe₂ 纳米片，随后通过原位超声沉淀方法将 SnS₂ 纳米量子点吸附到 MoSe₂ 表面。透射电镜表征显示，SnS₂ 量子点均匀地分散在 MoSe₂ 纳米片表面，平均尺寸 3-5 nm；且呈现出了 MoS₂ 和 SnS₂ 两套特征晶格条纹，表明形成了 MoS₂/SnS₂ 异质结。X 射线电子谱（XPS）显示制备的样品含有 Mo、Se、Sn 和 S 元素，进一步证实了样品的 MoS₂/SnS₂ 异质结；此外 XPS 测试结果还发现形成异质结后 Mo3d 和 Se3d 束缚能分别向低能带偏移了 0.2 和 0.3eV，而 Sn3d 峰正向偏移了 0.5 eV，表明电子从 SnS₂ 转移到了 MoSe₂。这种在界面处电荷的再分布有利于增加水分子的吸附，并提高 MoSe₂ 的导电性。接着研究人员分别将 MoS₂ 和 MoS₂/SnS₂ 置于 1 摩尔的氢氧化钾（KOH）电解液中进行电化学性能测试，在 10mA/cm² 电流密度下，没有 SnS₂ 量子点修饰的 MoSe₂ 的过电位为 367 mV，塔菲尔斜率为 147 mV/dec，质量比活性为 147 mA/mg，而有 SnS₂ 量子点修饰的 MoS₂/SnS₂ 异质结催化剂过电位降至 285 mV，塔菲尔斜率降至 109 mV/dec，质量比活性大幅提升至 559 mA/mg，表明 SnS₂ 量子点修饰显著增强了催化剂的反应动力学和催化活性。为了探究其催化性能增强的内在机理，研究人员利用密度泛函

⁹ B. H. Shen, S. Wang, W. E. Tenhaeff, Ultrathin conformal polycyclosiloxane films to improve silicon cycling stability. *Science. Advances*. 2019, DOI:10.1126/sciadv.aaw4856

理论(DFT)计算水分子在 MoS_2 、 SnS_2 和 $\text{MoS}_2/\text{SnS}_2$ 的基面和边缘位点的吸附强度,结果表明 SnS_2 的引入增强了 MoS_2 对水分子的吸附能力并加速了水的解离;另外, SnS_2 的基面和边缘位置也有利于水分子的吸附,从而进一步提高了 $\text{MoS}_2/\text{SnS}_2$ 对水分子的吸附和解离动力学速率,进而增强了催化性能。该项研究设计制备了全新的非金属 $\text{MoS}_2/\text{SnS}_2$ 异质结催化剂,引入 SnS_2 增强了 MoS_2 对水分子的吸附和解离能力,进而增强了催化活性,为设计开发高效碱性裂解水产氢的非金属催化剂提供了新思路。相关研究工作发表在《*Nano Energy*》¹⁰。

(刘竞 郭楷模)

能源资源

IEA：2018 年天然气需求猛增 未来五年将继续增长

6月7日,国际能源署(IEA)发布《2019年天然气市场报告》¹¹,总结了2018年全球天然气市场发展现状,并展望了至2024年的发展形势:2018年全球天然气需求增长了4.6%,是自2010年以来增速最快年份,几乎占全球一次能源需求增量的一半。到2024年,全球天然气需求预计将增长10%以上,超过4.3万亿立方米,中国将占到全球天然气需求增量的40%以上。报告要点如下:

1、2018年天然气需求创纪录增长,至2024年仍将保持增长

2018年是天然气的发展黄金期,其需求增长4.6%至3.9万亿立方米,是2010年以来的最大增长幅度,天然气在全球一次能源消费增量占比达到了45%。美国和中国是这一增长的主要贡献者。由于经济增长放缓,天然气取代煤炭的势头随之放缓,并基于北半球不会出现类似2018年夏季异常炎热天气的估计,预计未来五年全球天然气需求将以年均1.6%的速度增长,到2024年天然气需求将超过4.3万亿立方米。工业仍将是天然气需求增长的主要驱动力,年均增长3%,到2024年将占全球天然气需求增量的46%。受到可再生能源和燃煤发电的激烈竞争影响,电力部门的天然气需求增速将减慢,但到2040年仍将是天然气需求的最大部门,占总需求近40%。

2、以中国为主导的亚洲是全球天然气需求增长的关键地区

在中国和主要天然气生产国的带动下,几乎所有地区的天然气消费量都将增长。受到政府改善空气质量的目标推动,预计到2024年中国将占全球天然气需求增量的40%以上。由于丰富的天然气资源以及政府鼓励将天然气用于工业和发电,美国、

¹⁰ Yaping Chen, Xingyong Wang, Mengmeng Lao, et al. Electrocatalytically inactive SnS_2 promotes water adsorption/dissociation on molybdenum dichalcogenides for accelerated alkaline hydrogen evolution. *Nano Energy*, 2019, DOI:10.1016/j.nanoen.2019.103918

¹¹ Gas 2019: Analysis and forecasts to 2024. <https://www.iea.org/gas2019/>

中东和北非将占其余增长量的大部分。欧洲的天然气需求增长主要由于其煤电和核电厂被关闭，但增长将受到可再生能源扩张和建筑物供暖消耗减少的限制。然而，由于经济增长放缓，中国天然气需求将不会保持其前两年的强劲增长势头（2017 年和 2018 年分别增长了 14.5% 和 18.1%），到 2024 年的年平均增长率将降至 8%。南亚国家将引领亚洲其他地区的天然气需求增长，孟加拉国、印度和巴基斯坦需求增长的主要来源是工业部门。

3、美国将引领全球天然气供应和出口增长

2018 年美国天然气产量增长 11.5%，是全球天然气产量增长的最大贡献者，也是其自 1951 年以来的最大增幅。中国、澳大利亚、俄罗斯和伊朗等主要生产国的产量也创下纪录。由于页岩气产量不断扩大，美国将继续引领全球天然气产量增长，预计到 2024 年美国天然气年产量将超过 1 万亿立方米，中国、伊朗和埃及等主要生产国的产量也将持续增加以满足国内市场需求。同时美国也将是天然气贸易增长的最大贡献者，到 2024 年美国、澳大利亚和俄罗斯将是天然气出口量增长的最主要来源。

4、全球天然气贸易扩张主要受液化天然气驱动

美国也是液化天然气（LNG）贸易增长的最大来源，如果卡塔尔没有确定的投资计划，美国将成为世界最大 LNG 出口国，到 2024 年将达到 1130 亿立方米。由于本国产能无法跟上需求增长，到 2022 年中国将成为世界上最大的管道天然气进口国，到 2024 年则将成为最大 LNG 进口国，预计 2024 年中国管道天然气进口量将增加一倍至 1000 亿立方米，LNG 进口量则将达到 1090 亿立方米。其他新兴亚洲市场也在推动液化天然气贸易增长，LNG 进口量将从 2018 年的 810 亿立方米增加至 2019 年的 1550 亿立方米。由于国内产量持续下降，欧洲的天然气供应缺口将扩大，荷兰格罗宁根油田的逐步淘汰以及北海油田枯竭将造成每年近 50 亿立方米的缺口，这将通过进口管道天然气和 LNG 来弥补。

5、LNG 投资正在增加，但仍需更多投资

LNG 出口项目投资在 2018 年出现反弹，但仍有不足，因为备用产能将在 2020 年后缩减导致市场趋紧。2019 年将有大量项目的最终投资决策公布，共计可增加 1500 亿立方米/年的出口能力。近期的投资决策体现出 LNG 融资模式的改变，加拿大 LNG、Tortue LNG 和黄金通道 LNG 等项目正在没有长期合同支持的情况下持续推进。全球石油巨头和公用事业公司利用资产负债表进行融资，以替代传统的项目融资方式。此外，需要更多的 LNG 运输船才能使 LNG 运输市场在 2022 年之后保持平衡。

6、全球天然气市场价格正趋于一致

全球主要地区的天然气市场价格正在趋同，2018 年第四季度以来，由于市场供

应充足，地区之间的价格差距也在不断缩小，尤其是亚洲和欧洲之间。但由于季节性因素较强，亚洲现货市场价格波动范围仍较大。LNG 贸易的扩大可能会促使天然气价格更趋于一致，但中国、印度和巴基斯坦等天然气消费和进口增长强劲的国家正在改革其国内天然气市场，其天然气价格在 2018 年和 2019 年进行了几次调整，目标是更加接近国际天然气价格，并促进对国内生产的投资。一些生产国也正在实施类似的改革。

（岳芳）

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

