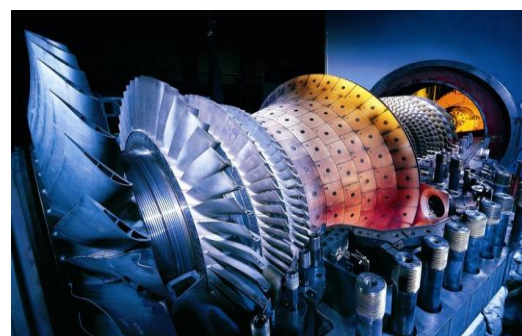


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：能效是构建安全可持续能源系统的关键
- 世界能源理事会评估各国能源系统绩效
- IEA：供应灵活性是全球天然气贸易发展和供应安全的关键
- DOE 资助 5300 万美元支持先进太阳能发电技术研发
- 非甲基胺阳离子平面型钙钛矿电池创稳态效率纪录

主管：中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组

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: 能效是构建安全可持续能源系统的关键2
世界能源理事会评估各国能源系统绩效5

项目计划

- DOE 资助 5300 万美元支持先进太阳能发电技术研发7
DOE 资助 1870 万美元支持先进煤/二氧化碳转化技术研发8

前沿与装备

- 非甲基胺阳离子平面型钙钛矿电池创稳态效率纪录10
液相法钙钛矿固有晶体缺陷是影响界面复合的关键因素11
Ni 原子修饰实现对 MoS₂ 纳米片表面调制增强电催化性能12
黑磷/碳纳米管复合纤维电极显著提升柔性超容性能13

能源资源

- IEA: 供应灵活性是全球天然气贸易发展和供应安全的关键14

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《能效市场 2018》报告，对当前全球能效改进现状和未来的发展走势进行了综合分析预测：自 2000 年以来，能效提高为世界主要经济体抵消了超过三分之一的用能增量，并减少了 2017 年全球 12% 的能源消耗量。然而近年来世界各国在能效政策方面做出的努力有所减弱，导致了 2017 年能效仅提升 1.7%，创下十年来的最低值，将为实现“巴黎协定”气候目标增加风险。IEA 建议增强能效投资、加大政策执行力度、提升新兴经济体能效，以及完善交通、建筑和工业能效政策，以实现到 2040 年能源需求略有提高、碳排放减少 40% 的高效世界情景。

世界能源理事会 (WEC) 发布《2018 年全球能源三难困境指数》报告，从能源安全、能源公平、能源环境可持续性三个指标维度（也称为“能源三难困境”指数），综合考量全球 125 个国家能源系统的绩效并做出排名：就综合得分而言，排名领先的国家与 2017 年保持一致，其中丹麦、瑞士和瑞典依旧位列前三甲，而荷兰、英国、斯洛文尼亚、德国、新西兰、挪威和法国分列 4-10 位。中国位列第 78 位，较 2017 年（86 位）有明显提高，主要原因是中国正在大力实施能源转型政策（如煤改气、可再生能源等）。从具体的三个维度指标分别来看，中国的能源安全指数表现尚好，排在 125 个国家中的第 43 位，高于平均水平；中国的能源公平性排在第 81 位，低于平均水平；而环境可持续性排在第 104 位，严重拖累整体排名。而随着中国工业和城镇化进程的推进，能源需求在不断增加，这让中国面临着严峻的能源安全挑战。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 5300 万美元用于支持先进太阳能发电技术创新研发项目，涵盖三大主题领域，包括：光伏发电、光热发电和太阳能产业劳动力培训，旨在推进太阳能发电技术的研发创新和成果的快速转化，以及太阳能产业劳动力培训，以降低太阳能电力成本和满足不断增长的太阳能产业劳动力需求。详见正文。

国际能源署 (IEA) 发布了《天然气安全审查 2018》报告，对天然气市场的供应安全问题和经验教训进行了深入剖析：全球天然气市场买家和卖家相互依赖程度加大，需求波动性和价格敏感性越来越受到新兴买家影响，而这将给天然气供应安全带来潜在风险。亚洲新兴液化天然气 (LNG) 市场崛起和美国天然气出口大幅增长正重塑全球天然气市场格局，为天然气市场安全带来挑战。灵活性仍是天然气市场安全的关键：中国天然气需求猛增带来安全隐患，需进一步进行基础设施建设以增加供应安全；灵活的 LNG 合约能够促进二级市场发展；LNG 的灵活供应能够应对短期突增的供应需求；LNG 运输交付的灵活性不足，可能构成安全威胁。

瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Saliba 教授研究团队利用元素替代的方法用热稳定性更好的无机阳离子替代热稳定性差的传统有机甲基胺离子，制备了不含甲基胺阳离子的平面型钙钛矿太阳能电池：该器件实现了高达 20.35% 的稳态效率，是迄今为止无甲基胺阳离子钙钛矿太阳能电池性能最高值，为钙钛矿电池商业应用积累了关键技术基础。

IEA：能效是构建安全可持续能源系统的关键

10月19日，国际能源署（IEA）发布《能效市场 2018》报告¹指出，由于能效政策支持力度降低的影响，2017年全球能源效率的改善速度显著放缓，全球能源强度仅降低1.7%，是过去十年来改善幅度最小的一年。受此影响，同期全球能源需求量强劲增长2%，是过去5年平均水平（0.9%）的2倍多。由于世界各国在能效政策方面做出的努力有所减弱，导致能效的改善速度面临严峻挑战，进而威胁到“巴黎气候协定”承诺气候目标的实现。为此，报告呼吁各国应该加大能效政策方面的工作力度，以充分发挥能效在促进能源转型和应对气候挑战方面的作用。报告关键要点如下：

1、尽管能效改善取得了进展，但难以满足气候挑战需求

自2000年以来，能效提高为世界主要经济体抵消了超过三分之一的用能增加，并减少了2017年全球12%的能源消耗量。其中，大部分节约的能耗来自于工业和建筑行业（图1）。就IEA成员国而言，这一能效改善为成员国减少了12%的碳排放和20%的化石燃料进口。毋庸置疑，能效在促进全球能源低碳转型中发挥了关键作用，是构建安全可持续能源系统的关键因素。然而近年来世界各国在能效政策方面做出的努力有所减弱，2017年能效政策的覆盖面增加似乎主要是来自现有政策的延伸，而不是以前未覆盖的领域和国家的新政策；此外，这些政策的严格性也降低了。上述因素导致了2017年全球能效仅提升1.7%，创下十年来的最低值。

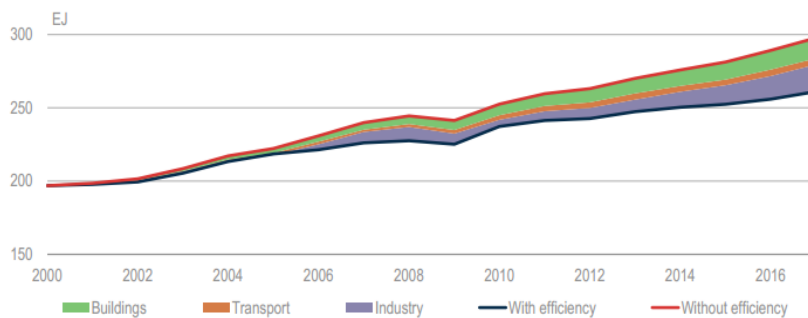


图1 2000-2017年有/无能效政策实行情况下全球主要行业能源消耗量变化趋势（单位：EJ）

2、能效改善能够带来社会、经济、环境多重效益

IEA 的高效世界情景（EWS）显示，能效提高将提供可观的经济、环境和社会效应。该情景显示，到2040年，全球GDP翻番情况下，全球能源需求将仅略高于现今水平；同时，能源相关的温室气体排放将在2020年之前达峰，随后将在2040年较当前水平下降12%；能效提高能够为全球减少约40%的碳排放。此外，能效提

¹ Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlook to 2040.

https://webstore.iea.org/download/direct/2369?fileName=Market_Report_Series_Energy_Efficiency_2018.pdf

高将减少煤炭、石油和天然气进口，加强能源安全。能效提高还将减少家庭用能，预计全球范围内的家庭将减少约 5500 亿美元能源支出。与当前相比，高效世界情景还将减少约 1/3 的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等关键空气污染物排放。

3、增强能效投资至关重要

EWS 情景下，所有投资机会都具有极高的成本效益，并将带来显著的经济效益。EWS 情景要求到 2025 年对能效技术投资需要翻番，同时在 2025 年后需要再次翻番，而其中每年投资所产生的节能效益将得到 3 倍于成本的收益。当前全球能效投资的规模还没有达到 EWS 情景要求，2017 年在所有领域的能效投资仅增长 3% 达到 2360 亿美元。其中，欧洲作为能效最大投资者，其投资正在增长，而中国和美国则略有下降。与 2016 年类似，2017 年建筑行业是能效投资最多的行业，占能效总投资的近 60%（图 2）。为了鼓励更广泛的投资，需要制定政策支持替代性融资机制和商业模式，如能源服务公司、绿色银行和绿色债券等。

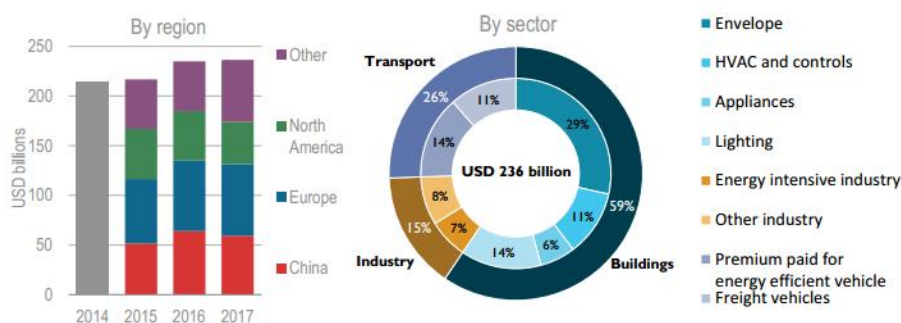


图 2 2014-2017 年主要国家能效投资变化（单位：十亿美元）和 2017 年不同领域能效投资占比

4、加大政策执行力度

2017 年，世界各国在能效政策方面做出的努力有所减弱，能效政策执行力度下降，2017 年能效政策的覆盖面增加似乎主要是来自现有政策的延伸，如汽车、家电等政策更新，而不是在以前未覆盖的领域和国家出台新政策。且大部分能效政策改进主要集中体现在交通部门，包括加拿大、欧盟、印度、日本、韩国和美国在内的几个国家和地区出台了更加严格的商用车和乘用车能效标准。在建筑、工业部门相关能效政策以及一些能效激励和市场调控政策有待进一步实施。目前，能效相关政策仍然以控制措施为主导，还需更多企业激励和人才计划等其他政策和配套举措。

5、提升新兴经济体能效是实现 EWS 情景目标的关键

新兴经济体的能效提高已成为全球能效提高的重中之重。IEA 密切合作的六个主要新兴经济体巴西、中国、印度、印度尼西亚、墨西哥和南非正在制定和实施提高能效的措施。自 2000 年以来，这六个国家能源需求快速增长，能源需求已经占到全球能源需求总量的三分之一。EWS 情景显示，只要严格执行 EWS 情景指标要求，到 2040 年这些国家经济总量将翻倍，但是能源消耗仅增加 24%。其中超过 40% 的能源节约将来自工业部门，其余的能源节约将由运输行业和建筑行业平分。2017 年，

这 6 个主要新兴经济体强制性能效政策覆盖的终端能源消费领域达到了 46%。但是，除去全球能效政策覆盖率最高的中国，其他新兴经济体的平均覆盖率低于 20%，因此仍需加大政策努力。

6、交通运输部门能效政策为 EWS 情景目标奠定了关键基础

在交通运输方面，EWS 情景强调，加快能效改善速度，在全球交通运输活动水平翻番的前提下，争取实现能源需求总量基本保持不变。交通运输行业具有全球最大的节能潜力，然而自 2000 年以来，其能效改善的速度远慢于建筑和工业部门。释放交通运输节能潜力的关键在于提高燃油汽车发动机燃油效率和扩大电动汽车部署规模。燃油效率指标是促进交通运输能效提升的核心政策，该类政策实施为公路运输节省 120 万桶/日的石油消耗量。目前，燃油效率标准已经覆盖五分之四的在售燃油车。此外 EWS 显示，到 2040 年电动汽车要占到全球乘用车的 40%，因此电动汽车推广政策至关重要。此外，卡车在交通运输行业具有超过 40% 的节能潜力(图 3)，目前的政策为未来公路运输系统的能效提高奠定了基础，但政策的覆盖范围和严格程度仍存在可改善的空间。非公路交通运输领域（航空、铁路和航运等）能效政策将为全球能效提升创造新的机遇。

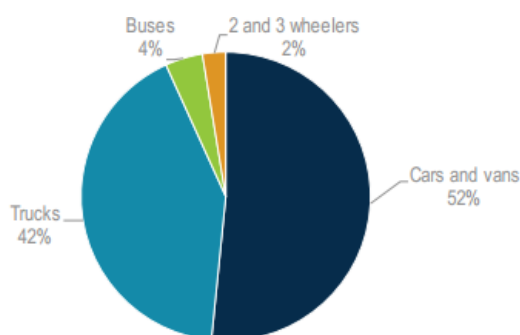


图 3 到 2040 年间不同道路交通形式节能潜力对比

7、建筑和工业部门能效日益改善，但需要能效政策更加全面

在建筑部门，EWS 情景中单位建筑面积能效将在当前水平上提升约 40%。到 2040 年，全球建筑面积将增长 60%，但通过推行建筑能效政策和利用现有节能技术，可以实现建筑领域的能源需求总量基本保持不变。作为关键政策措施，2017 年建筑和电器能效标准为建筑行业节约了 10% 的能源使用量。然而，仍然有三分之二的国家缺乏强制性建筑物能效指标，家电节能标准也仅涵盖了约 40% 的电器（图 4），相关政策、标准亟需进一步完善。

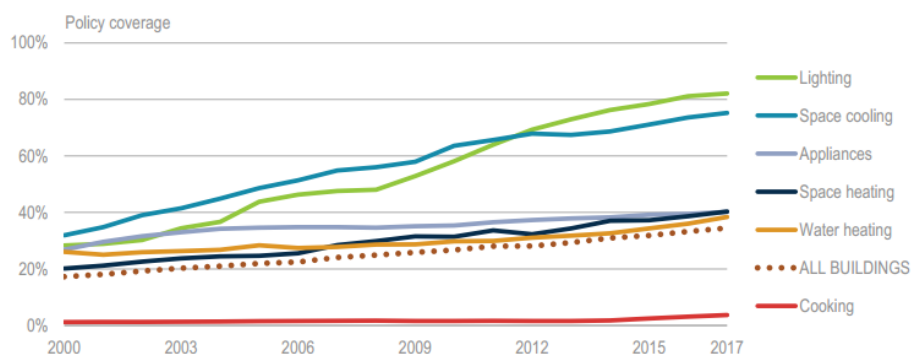


图 4 2000-2017 年间建筑部门不同用能方式能效政策覆盖率变化态势

到 2040 年，工业部门每单位能源消耗产生的工业增加值将翻一番。以电机驱动系统和制冷过程中电动热泵技术为主的关键创新正在有效提高能效。EWS 情景显示，如果所有国家都能强化电机标准并快速实施，全球工业用电量将会降低 16%。目工业节能潜力主要集中在于能源密集程度较低的制造业，预计到 2040 年能源强度将降低超过 40%。为实现该目标，需要针对一系列领域大量能源用户制定能效政策以及监管机制；同时，还要鼓励采用能源管理系统及其他信息化激励措施结合创新融资机制和以能源服务公司（ESCO）为代表的商业模式。

（陈栋 郭楷模）

世界能源理事会评估各国能源系统绩效

10 月 10 日，世界能源理事会（WEC）发布《2018 年全球能源三难困境指数报告》²指出，在全球能源系统向分布式、低碳化和数字化转型的发展进程中，如何做到在能源安全、能源公平、能源环境可持续性三个维度（也称为“能源三难困境”指数）之间平衡而不偏移是构建一个稳健平衡的能源系统面临的严峻挑战。报告以能源三难困境指数形式综合考量全球 125 个国家在能源安全、能源公平、能源环保三个维度的表现，以此评估该国管理平衡“能源三难困境”问题的能力和能源系统的绩效并做出排名。报告主要结论如下：

就 125 个国家“三难困境指数”综合得分来看，得分高排名领先的国家与 2017 年保持一致。其中丹麦、瑞士和瑞典依旧位列“能源三难困境”指数榜单前三甲，而荷兰、英国、斯洛文尼亚、德国、新西兰、挪威和法国分列 4-10 位。值得注意的是，在这 10 个国家中，除了新西兰以外全部是欧洲国家，既包括了可再生能源领跑者丹麦，也包括维持煤电的德国和以核电为主的法国，表明欧盟到 2020 年的能源和气候政策很好地促进了欧洲的能源系统发展。尽管综合排名前 10 的国家主要是发达经济体，但也出现了斯洛文尼亚这种中等发展水平的国家，表明了构建稳健平衡的能源系统并非只是“奢侈品”，通过智慧和综合政策措施是完全可以获得的。

² World Energy Trilemma Index 2018.

<https://www.worldenergy.org/news-and-media/news/balanced-energy-systems-not-solely-luxury-of-rich-economies/>

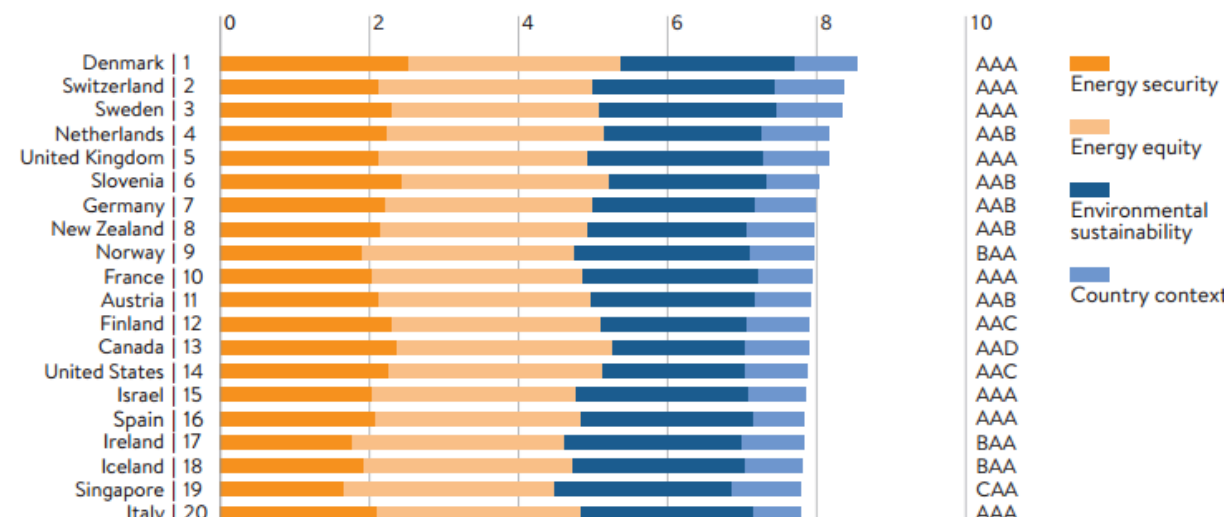


图1 2018年“能源三难困境”指数综合得分前20名的国家

就综合得分而言，中国位列第78位，较2017年（86位）有明显提高，主要原因是中国正在大力实施能源转型政策（如煤改气、可再生能源等）。过去10年间，中国能源结构中煤炭占比从超过70%大幅下降到了60%，同期非化石燃料占比翻了一番。从具体的三个维度指标来看，中国的能源安全指数表现尚好，排在125个国家中的第43位，高于平均水平；中国的能源公平性排在第81位，低于平均水平；而环境可持续性排在第104位，严重拖累整体排名。而随着中国工业和城镇化进程的推进，能源需求在不断增加，这让中国面临着严峻的能源安全挑战。

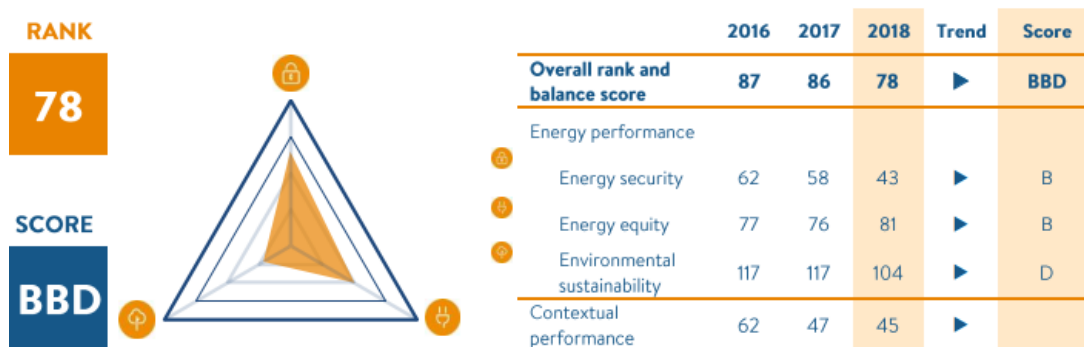


图2 2018年中国“能源三难困境”指数综合得分和单个指标得分情况

在能源安全方面，名列前茅的国家既代表能源净出口国，也代表拥有多样化和安全能源供应系统的进口国。在能源部门的转型中，能源安全重点已从控制供应转向在安全背景下的供应灵活性。一些欧洲国家在能源安全指数排名中表现良好，这是由于该地区具备了多样化和灵活的能源市场，包括跨境电网。

能源公平维度是考虑能源获取和负担能力的指标。2018年排名前十的国家（除加拿大外）表明了这一指数得分很大程度上与人口规模和人口密度分布有关。在联合国可持续发展目标7（SDG7）的指引下，无处不在的电力供应和清洁烹饪更容易成为较小国家或人口集中在大城市的国家的发展目标。然而，总体而言，在过去几

年里，所有国家的能源安全指数都有所改善。可负担性指标显示，获得补贴的电价和汽油价格也提高了能源公平指数得分，这在排名靠前的中东和海湾国家得到了反映。随着全球能源数据开始反映近期的变化，例如沙特阿拉伯在能源补贴政策上的变化，排名将发生变化，尤其是如果邻近的海湾国家紧随其后的话。此外，通过补贴获得的公平收益可以促进消费，但在可持续性方面产生不利影响。

在环境可持续性排名前十的国家中，有一些拥有强大的可再生能源发电系统的国家，也有一些碳排放和能源强度较低的国家，从而导致了较低的排放。前十国家反映了环境可持续部分问题，即管理能源消耗在保障能源环境可持续发展中扮演着重要角色。可持续发展的方法目前并没有完全反映空气污染，或电力组合中的脱碳比例。联合国可持续发展目标则充分考虑了上述因素，为可持续和低碳能源生产提供了全新的发展路径。

编者按：“能源三难困境”指数即能源安全、能源公平、能源环境可持续性三个维度指标，具体而言就是

(1) 能源安全 (Energy Security): 有效管理国内能源生产、能源进口，配以可靠的能源基础设施，满足当下与未来能源需求。

(2) 能源公平 (Energy Equity): 广大民众可以便捷、廉价地获取能源供应。

(3) 环境可持续性 (Environmental Sustainability): 供应侧与需求侧的能源效率，发展可再生能源与其他低碳能源。

(郭楷模)

项目计划

DOE 资助 5300 万美元支持先进太阳能发电技术研发

10月23日，美国能源部（DOE）宣布资助5300万美元用于支持先进太阳能发电技术创新研发项目³，旨在推进太阳能发电技术（包括光伏、光热发电等）的研发创新突破和技术成果的快速转化，以及太阳能劳动力培训工作，以降低太阳能电力成本和满足不断增长的太阳能产业劳动力需求。本次资助的项目主要聚焦在三大主题领域，包括光伏发电、光热发电和太阳能产业劳动力培训，具体内容参见表1。

表1 先进太阳能发电技术项目具体研究内容

技术主题	研究内容
光伏发电	推进新兴太阳能光伏技术的研发创新（如钙钛矿太阳能电池、双面进光太阳能电池、发射极背面钝化电池等），增强光电转换效率，提升光伏器件的稳定性和寿命；开发新的测试方案和工具，加速新

³ Department of Energy Announces \$53 Million in New Projects to Advance Solar Technologies. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-53-million-new-projects-advance-solar-technologies>

	兴太阳能光伏发电技术的市场化；研发新型的廉价光伏材料、改善工艺流程，减少发电成本，推动太阳能产业实现 2030 年的成本目标
光热发电	开发新型高效经济的太阳能光热发电组件，包括耐高温（700℃）耐熔盐腐蚀的平面聚光器、蓄热系统、效率达到 95% 的光热转换材料、结构涂层材料、热机发电装置、热传输系统等，提升光热发电效率，降低成本，促进实现 2030 年实现成本减半目标
劳动力培训	在社区大学进行太阳能产业劳动新技能（数字化技术、太阳能发电安全运营技能等）培训，尤其涵盖退伍军人（通过培训开发新技能增强就业能力），以应对未来太阳能产业数字化发展的劳动力需求和军人退伍就业问题

（郭楷模）

DOE 资助 1870 万美元支持先进煤/二氧化碳转化技术研发

10 月 31 日，美国能源部（DOE）宣布资助 1870 万美元用于先进煤炭/二氧化碳转化技术研发⁴，旨在提升以煤炭或二氧化碳作为原料的高价值产品生产技术的经济性，同时减少碳排放，为煤炭开拓新的市场机会。本次资金总计资助 17 个研发项目，具体内容参见表 1。

表 1 17 个先进煤/二氧化碳转化技术研发项目

项目名称	项目描述	资助金额/ 万美元
利用可再生能源电力将 CO ₂ 转化为化学品：燃煤烟气生产甲酸	开发一种基于可再生能源电力的电解槽技术，能够从燃煤试点电厂的烟气中经济生产甲酸，以降低燃煤电厂 CO ₂ 捕获成本；为生物加工业提供原料；使美国中西部乙醇生产厂满足低碳排放标准；经济生产可降解聚合物	80
煤衍生 CO ₂ 直接转化为芳烃的过渡金属/沸石催化剂设计	开发一种新的催化工艺，直接催化燃煤电厂烟气中的 CO ₂ 生产有价值的芳烃化学品。新催化剂将采取单反应器工艺将 CO ₂ 转化为芳烃，可在燃煤发电厂现场部署	80
通过热化学循环氧化还原将 CO ₂ 和页岩气可持续转化为乙酸	对使用 CO ₂ 和页岩气可持续和经济有效地生产乙酸进行全面概念验证，该项目将解决混合氧化还原工艺技术的难点，推进其在电厂烟气的实际应用	80
新型模块化电催化工艺将二氧化碳和湿页岩气同时转化为有价值产品	开发一种利用固体氧化物电解将湿天然气中的二氧化碳和乙烷同时转化为有价值产品的工艺。该技术将为化石燃料发电厂、石油和天然气生产商以及中游天然气加工厂提供碳捕集和乙烷供应过剩的协同解决方案	80

⁴ Energy Department Invests \$18.7M to Develop Products from Carbon Dioxide or Coal.
<https://www.energy.gov/fe/articles/energy-department-invests-187m-develop-products-carbon-dioxide-or-coal>

使用改进的 PEM 电解装置将煤衍生 CO ₂ 电化学转化为燃料和化学品	开发一种电化学工艺，仅使用 CO ₂ 、水和电力将 CO ₂ 转化为化学品和燃料。已经开发出一种原型，在 CO ₂ 转化成 CO 过程中表现出高选择性和电流密度，可用于制造高价值产品如甲醇、乙酸、聚合物和药物	80
CO ₂ 转化为燃料的新工艺	将开发一种基于吸附剂的新工艺，通过甲烷和水将 CO ₂ 还原为 CO 和 H ₂ 混合物，用于发电厂或其他大型来源碳捕集，不会产生额外的 CO ₂ 。将通过过程建模和分析证明碳中和将二氧化碳转化为燃料的技术经济可行性	80
通过新型电化学催化实现 CO ₂ 转化为燃料	对一个可将 CO ₂ 经济转化为燃料和化学品的模块化和可扩展的反应器进行示范。该项目将国家可再生能源实验室开发的碳-碳偶联催化剂与新兴的质子传导陶瓷膜相结合，直接利用 CO ₂ 原料生产合成燃料和高值化学品	80
通过新型无 PGM 催化剂选择性、高效利用 CO ₂ 电化学生产甲酸	开发一种实验室规模的非生物电解槽，可以经济高效地将 CO ₂ 转化为甲酸。该项目将设计一个过程，从煤炭或化石燃料燃烧的烟气中收集 CO ₂ ，并将其输送到电解槽。超临界 CO ₂ 将用于还原，液态 CO ₂ 将用于氧化	73
从发电厂排放 CO ₂ 生产甲酸的强化电催化工艺	开发和测试一种电催化方法，用煤衍生 CO ₂ 替代甲醇生产甲酸。该项目将：1) 降低从大型燃煤机组捕集 CO ₂ 的成本；2) 以更低成本生产甲酸，可能刺激燃料电池、储氢和化学品市场	80
通过工业废盐 CO ₂ 矿化生产合成碳酸钙	开发两种新型路线，利用废物流（如石油和天然气开采或 CO ₂ 封存产生的煤灰和盐水）生产沉淀碳酸钙。拟开发的工艺为煤电厂的 CO ₂ 排放控制和废水处理提供了独特的方法，同时能够生产高价值产品，以抵消废物管理产生的经济成本	80
独特纳米技术将 CO ₂ 转化为有价值的产品	开发一种实验室规模的创新纳米技术，通过氨基酸直接从燃煤电厂烟气中生产商品级碳酸氢钠。项目目标是在减少 CO ₂ 排放的同时生产具有商业价值的产品，以抵消碳捕集成本	80
新型藻类技术将 CO ₂ 用于增值产品	开发一种将 CO ₂ 转化为增值产品的高效工艺，包括三项关键技术：烟气环境下具有高生产率和强大性能的藻类、藻类节能脱水和营养保健品生产。该技术能够用于煤和天然气发电厂、大型工业 CO ₂ 排放源和涉及藻类生物燃料、食品和营养保健品的实体	150
利用燃煤电厂 CO ₂ 生产动物饲料	开发一种生产微藻生物质的工艺，用于将燃煤电厂烟气中的 CO ₂ 转化为动物饲料，以证明	144

	利用电厂 CO ₂ 生产大型市场产品的潜力。主要产品是风干藻类生物质，含有 ω-3 油、类胡萝卜素和蛋白质，可作为优质动物饲料	
乙烷和燃煤烟气 CO ₂ 热电催化生产乙烯的现场测试	现场规模示范纳米工程催化剂驱动的热化学工艺，使用乙烷和燃煤烟气中的 CO ₂ 生产高产量乙烯。该项目的长期目标是利用 CO ₂ 生产轻质烯烃的商业可行且环保的技术	150
将 CO ₂ 和煤燃烧残留物再循环到建筑产品中的可扩展工艺	开发利用烟气中的 CO ₂ 和煤燃烧残渣合成 CO ₂ NCRETE（二氧化碳混凝土）的工艺，将为煤电行业提供固体废物和 CO ₂ 利用的新途径，以生产具有大型潜在市场的增值产品	150
新型 Charfuel®煤精炼工艺试点工厂项目生产升级煤炭产品和有商业价值的联产品	在现有许可试点工厂采用新型 Charfuel®煤精炼工艺生产升级煤产品和有机及无机副产品，以获取用于设计商业规模综合设施的工程和产品数据	200
从废煤生产增值产品的疏水-亲水分离工艺的中试试验	疏水亲水分离工艺的技术、经济和环境效益示范，该工艺用于从废弃煤废料中生产高纯度、增值的洁净煤和特种碳产品。该项目将通过全面分析确定促进商业化的途径	200

(岳芳 郭楷模)

前沿与装备

非甲基胺阳离子平面型钙钛矿电池创稳态效率纪录

钙钛矿太阳能电池的转换效率已经与商业化的多晶硅电池、CdTe、CIGS 等化合物薄膜电池相当，逼近单晶硅，且具备成本低廉、工艺简单等优点，成为近年来光伏研究领域的热点。然而由于传统高效钙钛矿电池采用非稳定的有机甲基胺离子 (CH₃NH₃⁺, MA⁺) 导致了电池不稳定特性，影响了电池寿命，阻碍了电池的商业化发展。瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Saliba 教授研究团队利用元素替代方法制备了不含甲基胺阳离子的平面型钙钛矿太阳能电池，实现了高达 20.35% 的稳态效率，是迄今为止无 MA⁺ 钙钛矿太阳能电池性能最高值。相关的研究已经表明 MA⁺ 热稳定性较差，在长时间的太阳光辐照下，含有 MA⁺ 的钙钛矿薄膜很容易降解，导致性能衰退。为此，研究人员用热稳定性更好的铷 (Rb)、铯 (Cs) 和甲脒 (FA) 等三种阳离子共同替代 MA⁺ 制备了混合阳离子的钙钛矿薄膜 RbCsFAPbI₃，紫外可见光谱测试结果显示，混合阳离子钙钛矿薄膜 RbCsFAPbI₃ 的禁带宽度为 1.53 eV，与传统的单 MA⁺ 钙钛矿薄膜 MAPbI₃ (1.58 eV) 相当，保证了钙钛矿薄膜优异的光吸收特性。接着以 RbCsFAPbI₃ 为光敏层制备了平面型钙钛矿太阳能电池，而为了避免平面型电池器件电子传输层和空穴传输层直接接触引起的短路问题，研究人员在电子传输层和钙钛矿光敏层之间引入了聚合物 PCBM/PMMA 缓冲层，随后进行光电性能测试。在

一个标准模拟太阳光的辐照下，面积为 0.1 cm^2 含有 PCBM/PMMA 缓冲层的钙钛矿电池平均转换效率为 19.71%，高于无缓冲层的器件（18.2%），主要原因就是缓冲层加入改善了电池的填充因子。而含有 PCBM/PMMA 缓冲层的钙钛矿电池性能最优值突破了 20%，达到 20.35%，是目前文献已报道无 MA^+ 平面型钙钛矿太阳电池的最高值。在室温、惰性氮气氛围环境下对电池进行老化测试，结果显示连续光照 1000 小时后，无聚合物缓冲层的电池器件效率从初始的 19.04% 显著下降至 15.31%，而有缓冲层的电池仅从 19.54% 小幅下降至 18.16%，表现出优秀的稳定性，这也是已报道的平面型钙钛矿电池稳定性最佳的器件。该项研究利用元素替代的方法用热稳定性更好的无机阳离子替代热稳定性差的传统有机甲基胺离子，同时在电子传输层和空穴传输层之间引入聚合物缓冲层以抑制两者的接触引起短路，从而增强了电池的性能和稳定性，为钙钛矿电池商业应用奠定了关键技术基础。相关研究成果发表在《*Science*》⁵。

（郭楷模）

液相法钙钛矿固有晶体缺陷是影响界面复合的关键因素

有机-无机杂化钙钛矿太阳电池凭借着出色的光电转换效率引起了科学家的广泛关注。然而，稳定性差阻碍了该电池技术走向商业化，因此探明钙钛矿性能衰退机制，不断提高电池稳定性是当前的研究热点。英国帝国理工学院 Martyn A. McLachlan 教授课题组联合韩国光州理工学院研究人员，利用扫描透射显微镜（STEM）成像技术首次成功观测到了液相钙钛矿薄膜晶粒存在结构缺陷，通过一系列表征研究发现这一结构缺陷是影响钙钛矿光伏器件界面复合的关键因素，即影响器件性能的关键因素。研究人员首先利用旋涂法在手套箱内制备了甲基胺铅碘（ MAPbI_3 ）钙钛矿薄膜，并通过对前驱体浓度和制备条件调控获得了两种不同晶粒大小的钙钛矿薄膜，随后将钙钛矿薄膜分别组装成完整的电池器件，并用聚甲基丙烯酸甲酯有机涂层进行封装以隔绝外界空气的腐蚀。电流-电压曲线测试结果显示，基于大、小晶粒 MAPbI_3 钙钛矿薄膜光电转换效率依次为 17.69% 和 13.1%。为了揭示两种薄膜电池性能差异，研究人员对大、小晶粒钙钛矿薄膜进行了微波阻抗成像表征（MIM）。在没有光照的情况下，两种薄膜都没有 MIM 图谱呈现；但外加 100 mW cm^{-2} 光强度 532nm 激光照射后，大晶粒钙钛矿薄膜呈现出强烈的 MIM 图谱信号，但小晶粒钙钛矿薄膜信号则要弱很多。随后将 MIM 和原子力显微镜（AFM）结合对两种钙钛矿薄膜表面的光电导进行成像研究，结果显示大晶粒钙钛矿薄膜的光电导率是小晶粒的 5-6 倍（薄膜不同区域略有波动）。时间相关的光致发光图谱（TRPL）表征显示，大晶粒钙钛矿薄膜光生载流子寿命是 280 纳秒，是小晶粒的 3

⁵ Silver-Hamill Turren-Cruz, Anders Hagfeldt, Michael Saliba. Methylammonium-free, high-performance and stable perovskite solar cells on a planar architecture. *Science*, 2018, DOI: 10.1126/science.aat3583

倍多(80 纳秒)。X 射线衍射跟踪发现,大晶粒钙钛矿薄膜的特征衍射峰 14° 和 28.3° (分别对应 (110) 和 (220) 晶面) 的峰强度远高于小晶粒,即大晶粒钙钛矿薄膜结晶度更高。而大晶粒钙钛矿薄膜更高的光电导就是来源于薄膜晶粒更好的结晶度和长的载流子寿命。随后对两种薄膜晶界(即晶粒之间的缝隙)进行同样的光电导研究,结果显示两种薄膜不同区域的微波信号基本上是均匀分布,也即晶界微结构不会引起薄膜内部发生强烈的光响应空间变化,对薄膜的光电导基本没有影响。而局域的光电导空间演化研究发现,随着薄膜暴露在空气中的时间推移,钙钛矿薄膜光电导逐步减弱,但减弱是从晶粒表面开始并非晶界,也即薄膜降解始于晶粒的分解,而不是晶粒间的晶界,即钙钛矿薄膜本身存在结构缺陷导致电子空穴复合,而非晶界引起。该项研究首次利用扫描透射显微镜成像技术实现了对液相法制备的钙钛矿薄膜晶粒本征的结构缺陷观测研究,揭露了液相法钙钛矿薄膜晶粒本身存在结构缺陷导致复合产生,为改善钙钛矿电池稳定性问题提供了重要的科学理论参考。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》⁶。

(郭楷模)

Ni 原子修饰实现对 MoS₂ 纳米片表面调制增强电催化性能

二硫化钼 (MoS₂) 是一种典型的廉价电催化产氢 (HER) 催化剂,其分层结构和独特的电子构型而被认为是最富前景的催化材料,MoS₂ 的 HER 活性主要来自边缘活性催化位点。然而,常规合成的 MoS₂ 高比例的无活性基面大大限制了其电催化活性,而且其电子迁移率较低导致电催化动力学缓慢。因此增加活性位点和增强导电性是提高 MoS₂ 电催化效率关键所在。由新加坡南洋理工大学 Xiongwen Lou 教授牵头的联合研究团队通过湿法浸渍技术以及还原气氛下的退火处理,在多通道碳 (MCM) 纳米纤维阵列衬底上负载的分层级 MoS₂ 纳米片上生长了孤立镍原子 (Ni),形成 MCM@MoS₂-Ni 复合物,显著增加了导电性和活性位点,增强了电催化活性。首先,研究人员在 800°C 氮气氛围中对电纺的聚苯乙烯-聚丙烯腈 (PS-PAN) 纳米纤维进行退火处理获得了 MCM 纤维阵列。接着采用溶剂热反应在 MCM 阵列的表面上生长超薄 MoS₂ 纳米片,形成 MCM@MoS₂ 复合物。然后,通过浸渍法将 MCM@MoS₂ 置于 Ni(NO₃)₂ 溶液中,将分散孤立的 Ni 原子装饰到 MCM@MoS₂ 表面形成 MCM@MoS₂-Ni,并在 600°C 下进行退火处理以增加 MoS₂ 的结晶度,并增强 Ni 原子和 MoS₂ 面内 S 原子之间的键合作用。扩展的 X 射线吸收精细结构 (EXAFS) 光谱研究了 Ni 原子的配位环境,结果显示 MCM@MoS₂-Ni 中没有 Ni-Ni 键,因此排除了 Ni 粒子簇的存在。相反,可以清楚地观察到以 1.63 Å 为中心的主峰,归因于 Ni-S 键合。电子能量损失谱 (EELS) 表征结果表明 Mo 和 S 元素在整个复合材料上

⁶ Tian Du, Claire H. Burgess, Chieh-Ting Lin, et al. Probing and Controlling Intragrain Crystallinity for Improved Low Temperature-Processed Perovskite Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 2018, DOI: 10.1002/adfm.201803943

呈现均匀分布，与 Mo 和 S 原子的情况不同，Ni 原子只存在于特定位置上，表明 Ni 原子孤立分散存在于 MoS₂ 纳米片上，而没有聚集。孤立单原子 Ni 与 MoS₂ 纳米片表面的 S 原子结合，会极大改变 MoS₂ 原本的电子结构，密度泛函理论 (DFT) 计算表明，孤立的 Ni 原子的装饰可以形成新的电子态，使得 Ni 原子配位的 S 原子对 H 具备了更强的吸作用，这有助于氢的催化析出。随后在 0.5 摩尔的硫酸溶液中对样品进行催化性能研究，通过稳态扫描线性伏安曲线可知与原始 MoS₂ (-297 mV) 和 MCM@MoS₂ (-263 mV) 的过电位相比，MCM@MoS₂-Ni 过电位大幅减小至 -53 mV；并且塔菲尔曲线（斜率越小催化活性越强）也显示 MCM@MoS₂-Ni 斜率最大为 -81 mV dec⁻¹，远小于 MoS₂ (-179 mV dec⁻¹) 和 MCM@MoS₂ (-136 mV dec⁻¹)。上述结果表明了 MoS₂ 和 MCM 的结合的确提高电催化反应动力学速率，而 Ni 原子的修饰则进一步提升了催化反应速率。最后对 MCM@MoS₂-Ni 催化剂的稳定性进行测试，结果显示其可以连续稳定运行 1000 小时基本没有出现性能衰退，表现出优异的化学稳定性。该项研究通过表面化学调控，将孤立的镍原子修饰生长在多通道碳纳米纤维支撑的分层级的 MoS₂ 纳米片上，实现了对 MoS₂ 电子结构的调控，增加了活性位点，同时碳纤维增强了导电性，从而增强了催化析氢活性，为设计高效廉价的非金属材料开辟了新思路。相关研究工作发表在《Advanced Functional Materials》⁷。

(刘竞 郭楷模)

黑磷/碳纳米管复合纤维电极显著提升柔性超容性能

随着便携式和可穿戴式电子设备的不断增加，柔性超级电容器凭借其轻巧、环保、柔韧性能优良等特点，引起了研究人员的广泛关注。然而，较低的能量密度（远低于电池）限制了超级电容器的实际应用，因此亟需通过研发创新提升其能量密度。韩国延世大学 Seong Chan Jun 教授研究团队联合澳门大学研究人员合成制备了新型的一维管状结构的柔性正极和负极，应用于超级电容器。得益于柔性电极优异的离子导电性、化学稳定性等优点，电容器获得了超高的能量密度和循环稳定性。研究人员通过“晶种”辅助的水热法在碳纤维衬底上生长了氮掺杂的碳膜包覆的氧化钼 (MoO₂@NC) 一维阵列复合材料，扫描电镜和透射电镜表征证实了一维 MoO₂@NC 复合材料为中空圆管结构。随后在 1 摩尔的氢氧化钾 (KOH) 溶液中对 MoO₂@NC 复合一维中空管进行三电极循环伏安 (CV) 测试，CV 曲线呈现典型的方型图案，表明该材料具备可逆的离子嵌入和脱嵌性能，且形状不会随着扫描速度 (5 到 50 mV/s) 改变而改变，表明了材料本身内阻小且具有高的倍率性能，是良好的电极材料。接着研究人员对铜钴 (Cu-Co) 合金纳米线前驱体进行硫化处理，产物 (CuCo₂S₄) 的形貌依旧为一维线状，平均长度和直径分别为 3 μm 和 100 nm，但产物表明粗糙

7 Huabin Zhang, Le Yu, Tao Chen, et al. Surface Modulation of Hierarchical MoS₂ Nanosheets by Ni Single Atoms for Enhanced Electrocatalytic Hydrogen Evolution. *Advanced Functional Materials*, 2018, DOI:10.1002/adfm.201807086

度增加了；进一步的高分辨率透射电镜表征显示 CuCo_2S_4 也是中空的管状结构。同样对 CuCo_2S_4 一维中空管进行三电极 CV 测试，结果显示出现了 $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ 和 $\text{Co}^{4+}/\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$ 氧化还原峰，表现出典型氧化还原特性。随后分别以 $\text{MoO}_2@\text{NC}$ 为负极、 CuCo_2S_4 作为正极与聚醋酸乙烯酯-KOH 凝胶电解质组装成完整的准固态超级电容器。恒电流充放电测试显示，在 1 A/g 的放电电流密度下，电容器的比电容为 184 F/g ，而当电流密度增大到 16 A/g 时，其比电容依旧可达 78 F/g ，展现出优秀的高倍率性能；该柔性器件在 800 W/kg 比功率时获得了高达 65.1 Wh/kg 能量密度，而在 12.8 kW/kg 超高功率下依旧可以获得 27.1 Wh/kg 能量密度，且循环 5000 圈后，容量保持率高达 90.6% 。器件经过 2000 余次的反复弯折，依旧可以保持初始电容的 92.2% ，展现出优秀的柔韧性，器件所展现出的电化学性能远优于其他类似的复合电极材料。器件之所以有上述优异性能主要原因有三点：一是一维的纳米结构为电子和离子提供了快速传输通道，提升了传输效率；二是碳纤维衬底网状结构能够有效缓解充放电引起的体积膨胀问题；三是一维阵列电极结构让其能够与电解质充分接触，提升了活性材料的利用率。该项研究精心设计制备了高导电性、化学稳定性和机械柔韧性的柔性的一维纳米管正负电极，增强了电容器中电子、离子的分离和运输，从而显著增强了电容器电化学性能，对于开发高效柔性的超级电容器提供了良好的启发和借鉴意义。相关研究成果发表在《*Advance Science*》⁸。

（郭楷模）

能源资源

IEA：供应灵活性是全球天然气贸易发展和供应安全的关键

10月22日，国际能源署（IEA）发布了《2018年天然气安全审查》报告⁹，指出全球天然气市场正被以中国为首的新兴液化天然气（LNG）买家和美国产量及出口量增长重塑，这一转变带来了安全方面的挑战。报告对当前天然气市场的安全问题和教训进行了深入分析，强调供应灵活性仍然是确保全球天然气贸易发展和安全的关键先决条件，特别关注短期 LNG 产能及运输船的可用性。报告要点如下：

（1）去年冬天的天然气短缺事件经验和教训

去年冬天中国天然气需求猛增导致供应短缺（图1），促使政府立即采取紧急措施，并从2018年初开始制定一系列政策和投资决策以加强供应安全，包括几份新供应合同的签署和正在进行的天然气供应谈判，以及建设新的天然气管道、再气化终端和地下储存设施等基础设施。中国政府发布了几项新的政策指导方针，用于天然气中期目标和优先部署，以“赢得蓝天之战”。

⁸ Shude Liu, Ying Yin, Kwan San Hui, et al. High-Performance Flexible Quasi-Solid-State Supercapacitors Realized by Molybdenum Dioxide@ Nitrogen-Doped Carbon and Copper Cobalt Sulfide Tubular Nanostructures. *Advance Science*, 2018, DIO:10.1002/adv.201800733

⁹ Global Gas Security Review 2018. <https://webstore.iea.org/global-gas-security-review-2018>

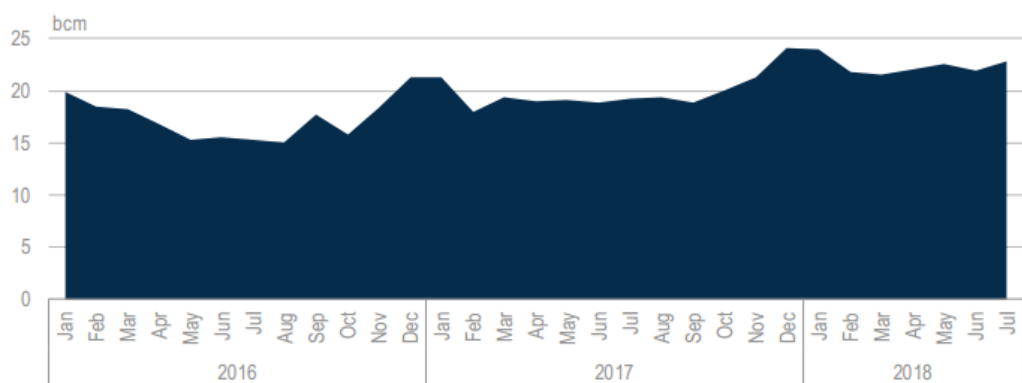


图 1 2016 年 1 月-2018 年 7 月中国天然气需求量的变化态势 (单位: 十亿立方米)

同样在去年冬天，欧洲发生了几起寒流和计划外的供应减少，但供应灵活性使托运方能够提供替代供应来源或使用替代路线，终端用户没有受到影响。一些欧盟成员国使用了欧盟天然气供应安全监管于 2017 年更新实施的危机管理措施。这体现了欧洲天然气综合系统的弹性，突出了实施协调政策的重要性、天然气网络整合的作用以及运营商之间的合作。

(2) 合约灵活性使实现 LNG 中游贸易成为可能

LNG 灵活性不断向全球市场发展，近期趋势是目的地灵活的新项目长期合同份额越来越大，提高了中游灵活性。近期 LNG 项目的长期买家将其采购的 LNG 转售给第三方，并开发二级市场供应给小型买家和新买家。2017 年签订的定期合同显示成交量较小的短期合同增长强劲，固定目的地的短期合同数量也有所反弹。这一变化表明了二级市场的发展，二级市场卖家通过灵活的长期资源组合中获得供应量以满足新买家的短期、小批量需求。这种一级/二级 LNG 市场发展和现有的传统背靠背合同一起，通过目的地灵活的长期合同得以实现，这些合同为组合投资者的采购提供了支柱。

(3) LNG 市场发生变化，但传统合约在中期内仍将存在

尽管灵活的 LNG 合同时间更短，而且目的地更加灵活，但仍保留了大量的固定目的地合同。现有的灵活合同将占 2021 年以后合同数量的一半以上，然而当前无合约的 LNG 数量是未来五年的两倍多 (表 1)。由于美国 LNG 的发展，天然气指数越来越普遍用于新合约。然而，石油指数仍是决定出口价格的主要组成部分，对于进口甚至更为重要，尤其是在亚洲和太平洋地区。原油市场收紧的风险和 LNG 供应的季节性紧张为 LNG 定价增加了压力。石油指数将继续影响全球液化天然气市场的灵活性和流动性发展。

表 1 2014 之前, 2015-2017 年间天然气签订合同变化情况

	Signed before 2014	Signed in 2015	Signed in 2016	Signed in 2017
Short-term (up to 1 year)	8%	16%	2%	24%
Flexible destination	39%	41%	42%	22%
Average contract duration (y)	16	10	9	4
Average contract volume (bcm/y)	1.7	1.0	1.2	1.0

(4) LNG 的及时性是应对突增短期供应需求的关键

由于 LNG 在满足成熟和新兴天然气市场供应需求和进口国数量方面发挥越来越大的作用, 过去十年间, LNG 应对突发的新增供应需求的及时性和准备情况成为一个日益严重的问题, 特别是对于主要依靠 LNG 来提供产量和灵活性的国家或地区。虽然全球和灵活 LNG 市场的发展有助于改善天然气供应安全, 但 LNG 运输或更改目的地花费的时间限制了其有效应对计划外供应。因此, 应将现货和灵活的 LNG 视为缓解供应短缺工具的一部分, 此外还有中游供应网络集成/管线包装能力和存储容量, 以及下游电力部门的燃料转换能力和需求响应措施。已有部分天然气市场具备上述大部分能力, 但新兴天然气市场仍处于天然气基础设施和监管框架的早期开发阶段, 这些市场在关注上游供应安全的同时, 应注意下游能力的发展, 并实施相关法规促进国内灵活市场的创建。

(5) LNG 市场转变影响航运需求, 可能导致市场紧张

由于对灵活供应和短期合同需求不断增加, LNG 运输船队正受到 LNG 市场变化的影响。这些变化挑战了传统的 LNG 运输业务模式, 预计中期船队发展、可用性及对航运价格水平和波动性的潜在影响将更加不确定。液化项目发展浪潮从 2010 年代前五年的投资决策开始, 使新船交付能力迅速提升, 在 2018 年达到高峰后下降 (图 2)。LNG 运输船队没有进一步增长, 在数量和交付灵活性方面都对未来的贸易发展构成了限制。缺乏对 LNG 运输船队的投资可能对市场发展和供应安全构成威胁, 将比 LNG 液化能力不足的情况更早出现。

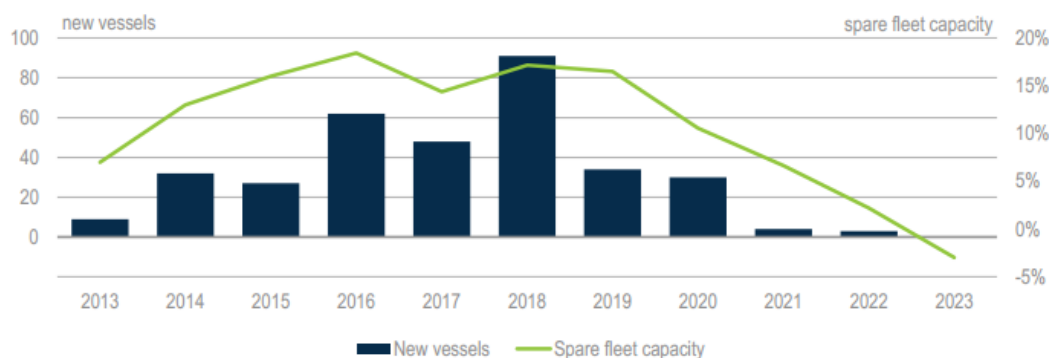


图 2 2013-2023 年 LNG 运输船增加数量和利用率变化态势 (2018 年以后为预测值)

(岳芳 郭楷模)

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

