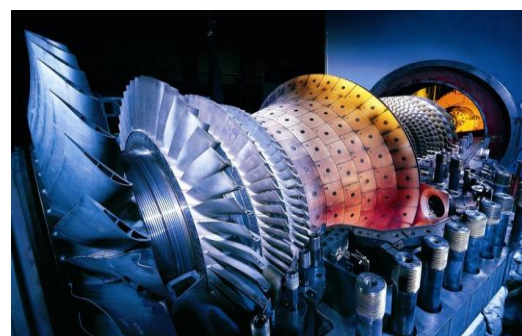


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 特朗普政府公布 2019 财年预算纲要 清洁能源预算大减
- GWEC：2017 年欧洲风电新增装机达创纪录的 16.8 GW
- 2017 年欧洲新增光伏并网容量 8.61 GW 创历史新高
- DOE 密集启动数个二氧化碳捕集技术研发项目
- 实验首次解密连续沉积钙钛矿生长机理

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:

赵晏强

zhaoyq@whlib.ac.cn

郭楷模

guokm@whlib.ac.cn

电话:

027-87197630



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

特朗普政府公布 2019 财年预算纲要 清洁能源预算大减2
GWEC: 2017 年欧洲风电新增装机达创纪录的 16.8 GW3
2017 年欧洲新增光伏并网容量 8.61 GW 创历史新高6

项目计划

DOE 密集启动数个二氧化碳捕集技术研发项目7
DOE 资助 650 万美元支持化石能源示范工程建设9

前沿与装备

全新疏水性 EH44 空穴材料提高钙钛矿太阳能电池稳定性10
实验首次解密连续沉积钙钛矿生长机理11
廉价镍铁纳米泡沫催化剂高效裂解水为氢能经济开辟新道路12
新型氮化钛金属网隔膜破除液态金属电池短板13

本期概要

美国总统特朗普公布了 2019 财年联邦政府 4.4 万亿美元的预算纲要报告，提议为美国能源部 (DOE) 提供总额为 306 亿美元经费预算：其中 DOE 基础科学研究的预算为 54 亿美元，与 2017 财年持平，将专注于开展前沿研究，包括：百亿亿次超级计算机和量子计算机、下一代科学设施和工具的升级建造等；能源创新研发相关计划的预算为 25 亿美元，比 2017 财年减少了 19 亿美元，其中清洁能源减幅最大，能源效率和可再生能源削减 13 亿美元至于 6.96 亿美元。详见正文。

全球风能理事会 (GWEC) 发布《2017 年全球风能统计报告》指出，2017 年全球新增风电装机容量 52.5 GW，与 2016 年基本持平：新增装机容量排名前五位国家依次为：中国（新增装机容量 19.5 GW，占全球新增装机总量的 37%）、美国（7 GW，占 13%）、德国（6.5 GW，占 13%）和英国（4.2 GW，占 8%）和印度（4.1 GW，占 8%）。截至 2017 年底，全球风电累计装机容量达到 539.5 GW。亚洲新增风电装机容量依旧高居榜首，其中中国风电累计装机容量依旧稳居全球第一，达到 188.2 GW，占全球风电装机总量的 35%。海上风电方面，2017 年全球新增装机容量 4.3 GW，使得全球累计装机容量达到 18.8 GW。2017 年，全球诸多市场风电价格纷纷下探到了 0.03 美元/千瓦时左右，展现出与传统化石燃料相当甚至更强劲的价格竞争力，表明风电正发展成为一个日渐成熟的产业。

欧洲光伏产业协会 (SolarPower Europe) 公布了 2017 年欧洲太阳能市场数据统计报告：2017 年欧洲并网光伏发电装机容量大幅增长了 28%，土耳其光伏装机大幅飙涨了 213%，成为欧洲太阳能装机容量增幅最大的国家；紧随其后的是德国，新增装机 1.75 GW，同比增加 23%；英国以 912 MW 位列第三，较 2016 年下降 45%。报告预测随着几个欧盟成员国选择太阳能来实现其国家约束性的 2020 年可再生能源目标，未来几年欧盟光伏装机容量将会出现强劲增长，太阳能将逐渐发展成欧盟公民中最受欢迎的能源。

为了减少电力部门的 CO₂ 排放，保障化石燃料资源的清洁可持续开发利用，美国能源部 (DOE) 2 月份相继资助了数个碳捕集技术开发项目：(1) 资助 4400 万美元用于商业规模的碳捕集技术设计与测试，涵盖两大技术主题，包括碳捕集技术的规模化示范工程和新型的商业化燃烧后的二氧化碳捕集技术开发；(2) 资助 1760 万美元用于开发变革性的碳捕集技术，涵盖新型碳捕集材料和技术开发和增强碳捕集性能的使能技术开发两大主题。详见正文。

美国能源部 (DOE) 化石能源局 (FE) 和国家能源技术实验室 (NETL) 联合资助 650 万美元用于支持“化石能源大型示范工程”主题项目第一阶段遴选出的 9 个化石燃料示范工程建设项目，以加快新兴煤炭技术的产业化，促进煤炭产业技术进步，促进煤电系统的改进。

瑞士洛桑联邦理工学院的 Michael Grätzel 教授研究团队通过一系列先进的测试手段，首次实现对连续沉积法制备的钙钛矿薄膜不同反应阶段进行观察研究，揭露了该方法制备钙钛矿的潜在的反应机理和动力学行为，为制备高性能的钙钛矿薄膜及其光电器件奠定了坚实的理论基础。

特朗普政府公布 2019 财年预算纲要 清洁能源预算大减

2 月 12 日，美国总统特朗普公布了 2019 财年联邦政府 4.4 万亿美元的预算纲要报告¹，其中建议美国能源部（DOE）的预算总额为 306 亿美元，将通过对变革性科技创新进行投资，以保障美国人民获得可负担、可靠能源，促进美国国家安全和经济增长。此外，预算中包括大量资金用于应对国家安全和环境管理保护方面的挑战，以更好地履行核安保和网络安全方面的国家责任，实现核安保企业现代化以及加强能源基础设施的网络安全。

DEPARTMENT OF ENERGY	
DOE Programs	FY19 (\$M)
• National Nuclear Security Administration	15,091
• Science	5,391
• Energy	2,515
• Environmental Management	6,601
• Other Defense Activities	853
• Administration and Oversight	293
• Savings and Receipts	-137
DOE Total	30,609

图 1 特朗普政府预算纲要中美国能源部预算情况

DOE 基础科学研究的预算为 54 亿美元，与 2017 财年持平，将专注于开展前沿研究。预算的重点包括：

- 科学前沿探索 22 亿美元，为前沿研究提供 40% 的预算，其中包括 5.78 亿美元用于建造百亿亿次数学运算的超级计算机和量子计算。

- 为超过 3 万名研究人员使用的国家实验室和世界级科学仪器提供 21 亿美元运营和维护费用。

- 7.6 亿美元用于建设下一代科学设施和工具，包括升级劳伦斯伯克利国家实验室的新型高级光源（ALS-U）和斯坦福直线加速器中心的利纳克相干光源 II 项目；继续建造费米实验室的长基线中微子设施、密歇根州立大学稀有同位素射线设施、大型强子对撞机的两次重大升级，以及 7500 万美元用于国际热核反应实验堆（ITER）项目。

能源创新研发相关计划的预算为 25 亿美元，比 2017 财年减少了 19 亿美元，用于支持国家实验室开展能源科技的早期研发工作。主要包括：

¹ President Trump Releases FY 2019 Budget Request.
<https://energy.gov/articles/president-trump-releases-fy-2019-budget-request>

●能源效率和可再生能源 6.96 亿美元，比 2017 财年减少了 13 亿美元，主要用于能源技术的早期研发，包括超越目前电池技术的能源储存新技术。

●预算案提议将电力传输和能源可靠性（OE）（总计 1.57 亿美元）划分为两个部分，以增加对电网可靠性（电力传输）和网络安全的关注。

●化石能源研发中心 5.02 亿美元，比 2017 年增加了 8100 万美元，重点放在尖端的早期研发中心，以提高先进化石能源系统的可靠性和效率。

●核能研究 7.57 亿美元，比 2017 年减少 2.59 亿美元，主要通过早期的研发中心来恢复和扩大美国的核能产业，支持先进的制造方法、仪表和反应堆技术，包括用于先进小型模块化反应堆研发中心的 5400 万美元。

●为尤卡山核废料处理仓库提供 1.2 亿美元，通过重启核能监管委员会对尤卡山核废料处理仓库的许可程序，建立一个强大的临时核废料处理仓库，以更好地打包储存核废料，提升防止打包的废弃物污染地下水的液滴防护屏的寿命。

●先进能源研究计划署（ARPA-E）经费停拨，但同时保持对现有资助项目的监督和奖励。

●资助 1000 万美元为降低印第安部落土地的能源成本以及推进电气化、能源开发和部署提供重要的财务和技术援助。

●资助 1.95 亿美元用于战略石油储备（SPR），海军石油和油页岩储量以及东北部家庭采暖石油储备。

（吴勘 郭楷模）

GWEC：2017 年欧洲风电新增装机达创纪录的 16.8 GW

2 月 14 日，全球风能理事会（GWEC）发布《2017 年全球风能统计报告》²指出，2017 年全球新增风电装机容量 52.5 GW，与 2016 年基本持平。2017 年新增装机容量排名前五位国家依次为：中国（新增装机容量 19.5 GW，占全球新增装机总量的 37%）、美国（7 GW，占 13%）、德国（6.5 GW，占 13%）和英国（4.2 GW，占 8%）和印度（4.1 GW，占 8%）。截至 2017 年底，全球风电累计装机容量达到 539.5 GW。

² Global Wind Statistics 2017.

http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf

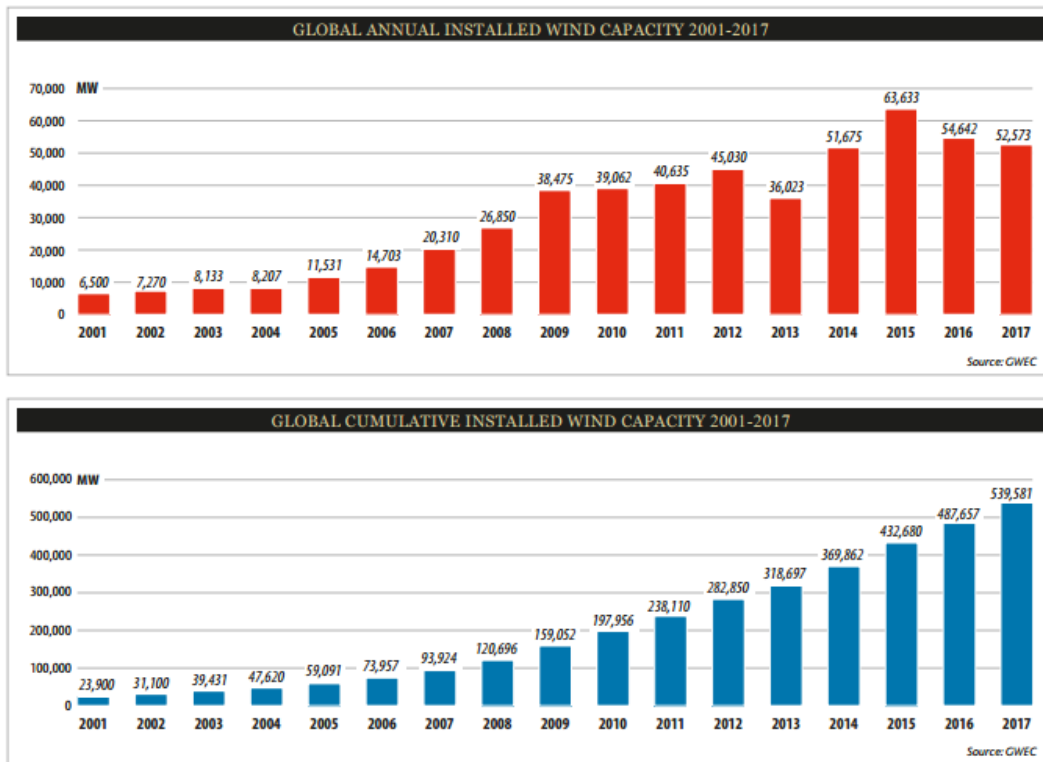


图 1 2001-2017 年全球风电装机发展态势（单位：MW）

就地区而言，亚洲新增风电装机容量依旧高居榜首，其中中国以 19.5 GW 继续领跑亚洲装机排行榜。印度以 4.1 GW 位居第二，但由于缺乏政策延续性，印度 2018 年的风电增长前景堪忧。日本和韩国分别为 177 MW 和 106 MW 分居三、四名。其他亚洲国家，如巴基斯坦、泰国、越南等，都显示出不同程度的增长。2017 年，欧洲风电实现了创纪录增长，达到 16.8 GW。其中德国新增装机最多，超过 6GW，紧随其后的是英国（+4.2 GW）和法国（+1.6 GW）。芬兰、比利时、爱尔兰和克罗地亚则纷纷突破了装机纪录。与此同时，欧洲海上风电装机也超过 3GW，预示着海上风电光明的发展前景。在北美，美国表现最为抢眼，2017 年美国市场以 7.1GW 装机容量再次经历了强劲增长的一年，同时在建项目显示未来几年的新增装机容量也将非常稳健。在拉丁美洲，巴西以 2 GW 引领该区域市场增长，更为关键的是，这一增长的实现是在国内政治和经济危机并未完全解决的背景下完成的。阿根廷在 2016-2017 年完成的招标将从 2018 年开始带来实质性的风电装机增长。在非洲和中东地区，过去一年有很多发展，但是真正带来实际装机的国家仅限于南非，621MW 实现并网发电。肯尼亚和摩洛哥也有项目完成装机，并将在 2018 年完成并网。大洋洲相对沉寂，仅澳大利亚新增装机 245MW。澳大利亚很多风电新项目在 2017 年签署，预计会在未来几年实现装机。

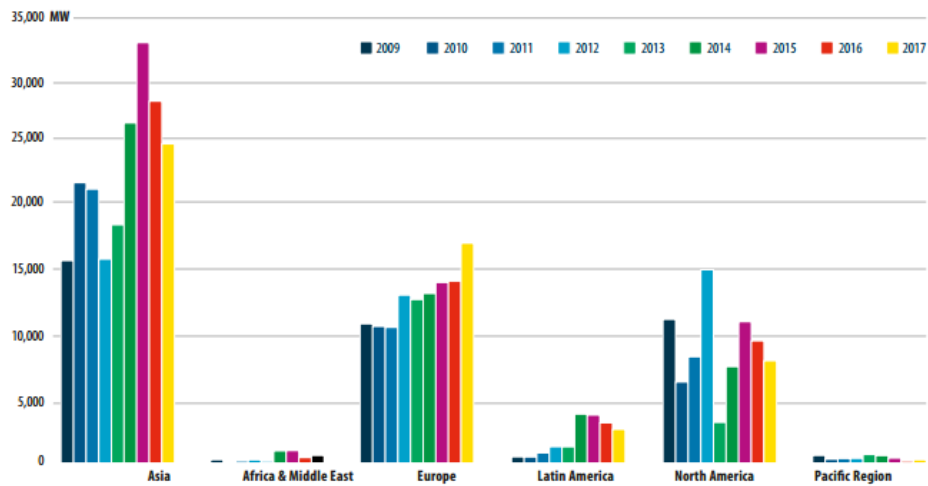


图2 2009-2017年全球不同地区风电新增容量变化态势（单位：MW）

尽管新增装机有所下降，中国风电累计装机容量仍稳居全球第一，达到 188.2 GW，占全球风电装机总量的 35%。紧随其后的是美国，累计装机容量达到 89 GW。德国以新增 6.5GW 引领欧洲风电市场，累计装机容量达 56 GW，位列第三。印度以 4.1 GW 创下本国新增装机新纪录，累计装机容量达到 32.8 GW，位列全球第四。

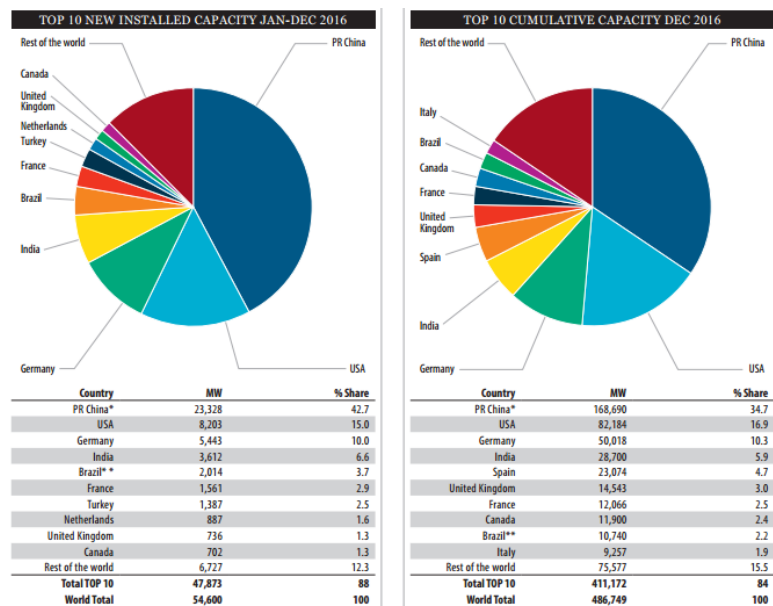


图3 2017年全球风电新增容量（左图）和累计容量（右图）排名前十的国家（单位：MW）

海上风电方面，2017年全球新增装机容量4.3 GW，主要国家包括英国(+1.6 GW)、德国(+1.2 GW)、中国(+1.1 GW)、比利时(+165 MW)、芬兰(+60 MW)和日本(+5 MW)。截至2017年底全球海上风电累计装机容量达18.8 GW。

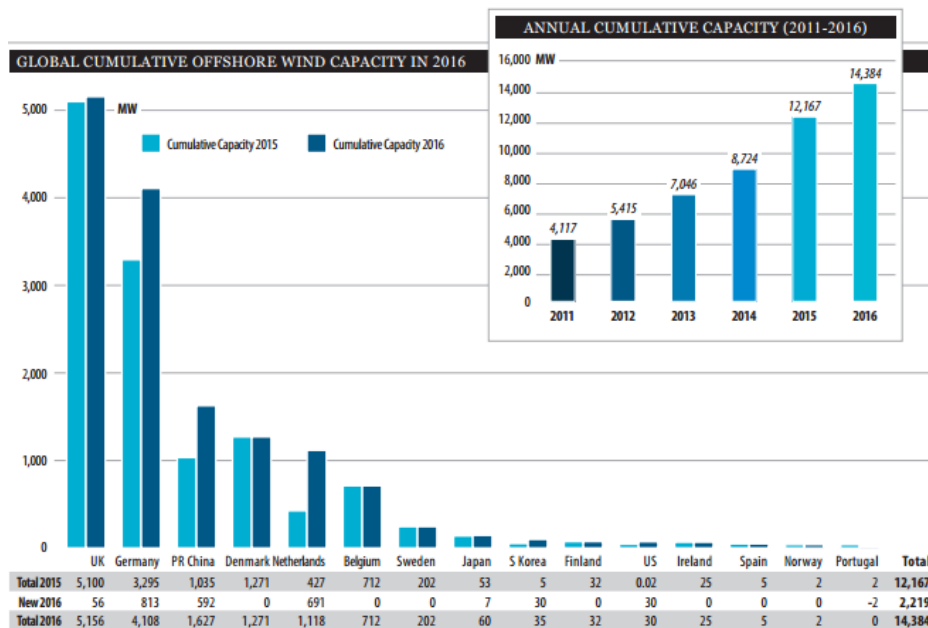


图 4 全球海上风电装机发展态势（单位：MW）

近年来，得益于技术的进步，风电价格不断下降，价格竞争力不断增强。当前，在全球诸多市场，风电都已经发展成为最具价格竞争优势的技术之一：2017 年，摩洛哥、印度、墨西哥和加拿大等国家的风电价格都在 0.03 美元/千瓦时左右，而墨西哥最近的招标价格更是创下了 0.02 美元/千瓦时历史性低价。在德国，全球首个“无需补贴”的海上风电项目成功实现招标，项目的装机容量为 1GW，该项目的电价将不会超过电力市场的批发价格。以上的装机统计数据显示，风电正发展成为一个日渐成熟的产业，展现出与传统化石燃料相当甚至更强劲的价格竞争力。

（郭楷模）

2017 年欧洲新增光伏并网容量 8.61 GW 创历史新高

2 月 9 日，欧洲光伏产业协会（SolarPower Europe）公布了 2017 年欧洲太阳能市场数据统计报告³，数据显示 2017 年欧洲新增并网光伏发电装机容量大幅增长了 28%，从 2016 年的 6.72 GW 增加至 2017 年的 8.61 GW，其中欧盟 28 个成员国新增并网光伏装机容量增长 6% 至 6.03 GW。

³ European Solar Market Grows 28% in 2017. http://www.solarpowereurope.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1518353359&hash=76298e5998e4d35e21ab37bd0c365b4fecdl1e6&file=/fileadmin/user_upload/documents/Media/090218_press_release_European_Solar_Market_Grows_28_in_2017.pdf

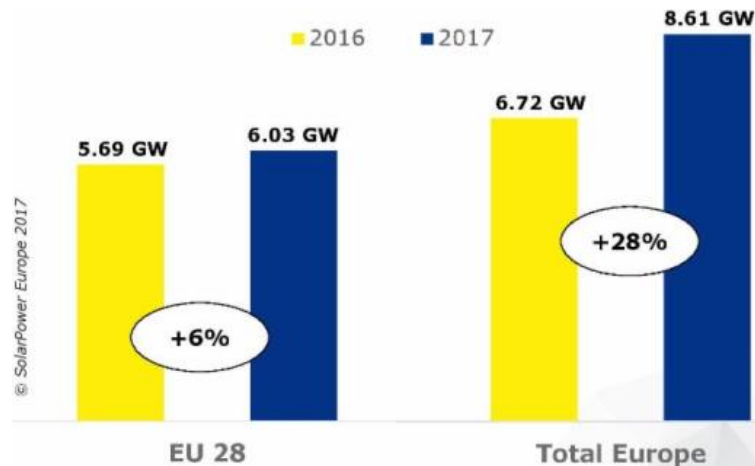


图1 2016和2017年欧洲全境及欧盟28个成员国光伏新增装机容量变化态势(单位:GW)

2017年,土耳其成为全欧光伏装机容量增幅最大的国家,新增装机容量达1.79 GW,较2016年大幅飙涨了213%;紧随其后的是德国,2017年新增光伏装机容量1.75 GW,同比增长23%;英国以912 MW位列第三,较2016年下降45%,主要原因是太阳能补贴计划缩减;法国和荷兰分居四、五位,分别增加了887 MW和853 MW,且随着可再生能源支持机制的推出,预计2018年这两个国家光伏新增装机将进一步增长;西班牙2017年新增装机仅有135 MW,尽管如此,该国的光伏新增装机同比增幅也达到了惊人的145%。

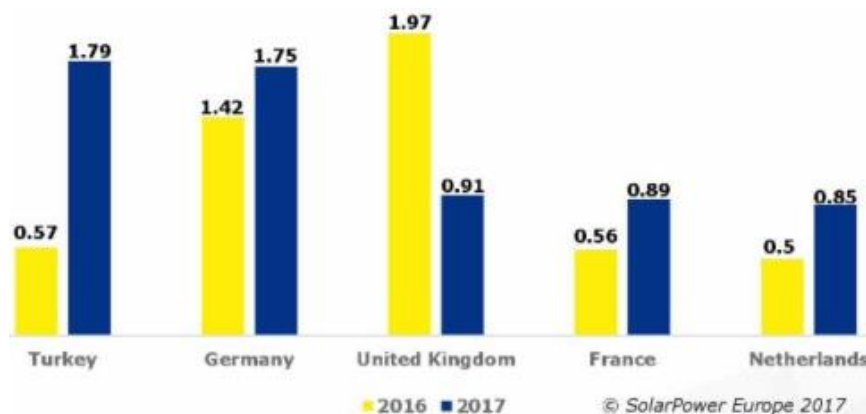


图2 2016和2017年欧洲光伏新增装机容量前五的国家变化态势(单位:GW)

报告预计,随着更多欧盟成员国选择太阳能来实现其国家约束性的2020年可再生能源目标,未来几年欧盟光伏装机容量将会出现强劲增长。再加之其低成本、多功能性和可靠性等优势,太阳能将逐渐发展成欧盟公民中最受欢迎的能源。

(郭楷模)

项目计划

DOE 密集启动数个二氧化碳捕集技术研发项目

为了减少电力部门CO₂排放,保障化石燃料资源清洁可持续开发利用,美国能源部(DOE)2月份相继资助了数个碳捕集技术开发项目,其中:

(1) 2月16日宣布资助4400万美元用于商业规模的碳捕集技术设计与测试⁴，旨在开发、示范经济、高效的新一代碳捕集技术，实现更加高效、经济捕集CO₂，促进捕集技术的商业化。项目涵盖两大技术主题，具体内容参见表1。

表1 先进碳捕集技术研发项目具体内容

技术主题	研究内容	资助金额/ 百万美元
碳捕集技术的规模化示范工程	<ul style="list-style-type: none"> 在挪威蒙斯塔德技术中心的二氧化碳规模化捕集示范工程上开展二氧化碳膜分离技术现场测试，以验证该技术的经济性和可行性，评估技术潜力 在挪威蒙斯塔德技术中心的二氧化碳规模化捕集示范工程上开展基于非水溶剂的二氧化碳分离吸附技术现场测试 在挪威蒙斯塔德技术中心的二氧化碳规模化捕集示范工程上开展基于混合盐（如碳酸盐、硅酸盐等）溶剂的二氧化碳吸附分离技术的现场测试 开发全新的膜分离-吸附混合的燃烧后二氧化碳捕集系统，并在1 MW的燃煤电厂上进行测试，以期将燃煤电厂烟气中二氧化碳的分离捕集效率提升至90% 	33.7
新型的商业化燃烧后二氧化碳捕集技术开发	<ul style="list-style-type: none"> 开发基于膜分离技术的商业化规模碳捕集系统，并在肯塔基州的杜克能源公司东湾发电厂进行测试，评估系统的性能 开发一个300 MW燃煤电厂处理能力的基于离子液体的商业化二氧化碳分离捕集系统，并在内布拉斯加州萨瑟兰公共电力设施进行测试，评估经济性 基于溶剂吸附技术设计开发具有完整功能的商业化燃烧后二氧化碳捕集系统，并将其应用于Minnkota电力公司的弥尔顿·R·杨燃煤电厂上进行测试，评估系统的经济、技术指标 	10.3

(2) 2月22日宣布资助1760万美元用于开发变革性的碳捕集技术，旨在进一步提高火力发电厂的碳捕集效率，降低碳捕集成本⁵。项目涵盖两大技术主题，具体内容参见表2。

表2 变革性碳捕集技术研发项目具体内容

技术主题	研究内容	资助金额/ 百万美元
新型碳捕集材料和技术开发	<ul style="list-style-type: none"> 针对燃烧后碳捕集开发全新的双相吸收溶剂，将其应用于二氧化碳双相吸收分离系统，整合到现有的燃煤电厂中，验证其分离收集烟气中二氧化碳的性能 开发基于石墨烯氧化物（GO）薄膜的二氧化碳膜分离技术，将其应用于现有的燃煤/燃气发电厂，将二氧化碳捕集效率提升至95% 	14.8

⁴ Energy Department Invests \$44M in Advanced Carbon Capture Technologies Projects. <https://energy.gov/articles/energy-department-invests-44m-advanced-carbon-capture-technologies-projects>

⁵ Department of Energy Invests \$17.6 Million in Technologies Capable of Reducing CO₂ Capture Cost and Energy Penalties. <https://energy.gov/articles/department-energy-invests-176-million-technologies-capable-reducing-co2-capture-cost-and>

	<ul style="list-style-type: none"> •开发新型的自组装均孔薄膜载体替代传统的载体应用于复合分离膜，将膜渗透性翻倍，增强碳捕集效能；开发新型薄膜材料将气体选择性翻倍 •开发基于混合盐（如碳酸盐、硅酸盐等）溶剂的二氧化碳吸附分离技术 •开发一个基于膜脱水的溶剂再生处理工艺，应用于各种吸附溶剂，实现溶剂的循环利用，降低二氧化碳的捕集成本 	
增强碳捕集性能的使能技术开发	•开发烟气气溶胶预处理技术，应用于溶剂型的燃烧后二氧化碳捕集系统，使烟气中的颗粒之间发生团聚，使烟气的颗粒数目减少，降低气溶胶浓度，以降低溶剂损失率	2.8

(郭楷模)

DOE 资助 650 万美元支持化石能源示范工程建设

2月15日,美国能源部(DOE)化石能源局(FE)和国家能源技术实验室(NETL)联合资助 650 万美元,用于开展“化石能源大型示范工程”主题项目第一阶段遴选出的 9 个化石燃料示范工程建设项目⁶,旨在通过示范工程来验证变革性煤炭技术成熟度、经济性等指标,加快新兴煤炭技术的产业化,促进煤炭产业技术进步,促进煤电系统的改进。项目具体研究内容参见表 1。

表 1 化石燃料技术试点项目具体内容

承担机构	研究内容	资助金额/万美元
巴布科克和威尔考克斯公司	针对特定的公用事业用途,在俄亥俄州开展一个 10 MW 级别的采用煤直接化学链燃烧技术的大型示范电厂的可行性研究,以此为后续的商业化电厂的设计、建造和运行制定成本估算	92.95
伊利诺伊大学	在燃煤电厂设计、建造和运行一个基于胺的燃烧后二氧化碳捕集系统。为选定的场址完成 EIV,获取必要的承诺并更新网站的成本和进度估算,同时确保成本共享承诺	107.38
Echogen 电力系统公司	将领导包括西门子、电力研究院、路易斯佩里协会和 Paul Weitzel 技术咨询公司的项目团队,以设计、建造和运营一个燃煤电厂的大型试验项目。这种转换技术将超临界二氧化碳作为一种工作流体,来实现可能会超过先进的蒸汽兰金循环的高热力学效率	84.5
通用电气公司	与通用电气全球研究公司合作,使用密封技术来推动新的和现有燃煤发电厂性能、效率和成本的提高。密封技术包括阀杆末端、中间段、叶片尖和阀门位置的密封。识别出适合测试床的汽轮机厂的类型,使用现有的蒸汽动力装置来验证和演示转化煤技术	82.76
膜技术研究公司	建造和运行 200 吨二氧化碳/日的大型中试捕集系统。大型膜试点将设计专注于利用 MTR Polaris™ 膜从烟气尾气中进行部	119.6

⁶Department of Energy to Invest \$6.5 Million for Large-Scale Pilot Fossil Fuel Projects.
<https://energy.gov/articles/department-energy-invest-65-million-large-scale-pilot-fossil-fuel-projects>

分捕集		
西南研究院	为大型燃煤试点工厂提供详细的设计、规格、成本和进度指标，展示能够降低电力平准化成本的无焰加压氧燃烧(FPO)技术，同时捕集可压缩至管道压力的二氧化碳，确保 FPO 技术达到最高效率	124.8
阿拉斯加费尔班克斯大学	为一个模块化的风吹式固定床气化炉提供前端工程设计(FEED)，并进行气体清理，为现有的柴油发电机提供清洁的合成气。FEED 将包括降低氧化硫和氮氧化物排放的技术，以便利用合成气运行柴油发动机	1.98
肯塔基大学研究基金会应用能源研究中心	演示用于燃煤火力发电厂的燃烧后碳捕集系统，该系统包括模块化设备和具有内置先进控制的独立式色谱柱，在响应动态外部需求的同时不断减少二氧化碳捕集能量的损失，以解决资本成本、能源消耗、负荷变化和环境影响等问题	116.8
北达科他大学能源与环境研究中心	设计、建造和运营一个直接燃烧的超临界二氧化碳循环试验装置，使用各种国内煤炭类型作为主要原料，进一步推动以煤为基础的阿拉姆循环技术的发展	87.5

(吴勘 郭楷模)

前沿与装备

全新疏水性 EH44 空穴材料提高钙钛矿太阳能电池稳定性

有机无机杂化钙钛矿太阳能电池凭借其较高的效率、简单工艺和低廉的成本，被认为是最有希望替代晶硅电池的新一代薄膜电池技术。然而，稳定性差问题成为了该电池技术走向商业化应用的一大障碍。美国国家可再生能源实验室 Joseph M. Luther 教授课题组利用新型的 EH44 材料替代常规的空穴传输材料 spiro-OMeTAD，同时利用界面控制策略，构建了一种在水、氧气、光照等多种影响因素共存的实际环境中稳定运行超过上千小时的钙钛矿太阳能电池，稳定性得到了大幅提升。研究人员首先以传统的 spiro-OMeTAD 为空穴材料构建了 TiO₂/FAMACs/spiro-OMeTAD/Au 常规结构的钙钛矿电池，并系统地研究了电池光电性能和稳定性。光电性能测试结果显示，该电池获得了 17.23% 的优异转换效率，然而实际应用环境下（室温环境，湿度 20%）的老化测试结果显示电池稳定性较差，电池在初始的时候就发生了快速的性能衰退，即最初的 300 小时连续辐照后，电池性能就快速下降 20%，后续开始缓慢衰退，经过 1000 多小时的连续辐照后，电池的效率仅能够维持初始效率的 61% 左右；通过一系列的测试分析得出上述电池稳定性不佳的主要原因在于：一方面 spiro-OMeTAD 空穴薄膜膜内的锂离子具有良好的亲水性，容易吸附空气中的水分，且锂离子会在整个电池器件中不受控制地自由移动，使得水分不断扩散到整个器件中，导致钙钛矿分解失效；另一方面，TiO₂ 电子传输层和钙钛矿界面接触层存在化学成分扩散现象也会引起钙钛矿分解。为此研究人员

开发了全新的疏水性 EH44 空穴材料替代 spiro-OMeTAD 空穴，同时为了匹配 EH44 新空穴的能级，采用了含有氧化钼缓冲层的铝电极 MoOx/Al 替代 Au 电极，二氧化锡 (SnO₂) 电子传输层替代 TiO₂ 层优化钙钛矿和电子传输层接触界面，构建了 SnO₂/FAMACs/EH44/MoOx/Al 新型结构钙钛矿电池，获得了 16.35% 优异性能。最为关键的是，未封装的电池在室温、湿度 20% 实际环境下连续稳定工作 1000 多小时后仍可维持初始效率的 94%，展现出前所未有的稳定性。该项研究利用疏水性新型高效空穴材料替代亲水性的 spiro-OMeTAD，同时结合界面优化控制，大幅改善了钙钛矿电池器件的性能稳定性，为制备高效稳定的钙钛矿电池提供了新途径，使得该电池技术距离商业应用又近了一步。相关研究成果发表在《Nature Energy》⁷。

(郭楷模)

实验首次解密连续沉积钙钛矿生长机理

钙钛矿太阳能电池不仅能量转换效率高，且成本比传统的硅电池更低，是极具发展前景的一类薄膜电池技术。然而目前人们对于钙钛矿材料本身的生长机理以及薄膜形貌的形成机制不甚明了，而对钙钛矿材料形成机理的深入认知是制备高性能光电器件的关键因素。瑞士洛桑联邦理工学院的 Michael Grätzel 教授研究团队通过一系列先进的测试手段，首次实现对连续沉积法制备的钙钛矿薄膜不同反应阶段进行观察研究，揭露了该方法制备钙钛矿的反应机理和动力学行为，研究不同温度和光强度对钙钛矿电池性能的影响，进一步揭示了钙钛矿电池的内在工作机理。研究人员通过旋涂法将碘化铅 (PbI₂) 沉积在氧化铝 (Al₂O₃) 多孔层上，并辅以加热处理数分钟，随后将碘化甲胺 (MAI) 溶液滴定在 PbI₂ 薄膜上让其反应生成钙钛矿。XRD 表征显示，在未滴定 MAI 时候，特征衍射峰出现在 12.66，对应 PbI₂ 的 (001) 面；滴定 MAI 后的最初 25 秒内，依然只探测到 PbI₂ 的 12.66 的峰，且衍射峰增强半高宽变窄，即 PbI₂ 薄膜结晶性提高。25 秒后，PbI₂ 的 12.66 的衍射峰强度逐渐减弱半高宽变宽，同时新出现 14.01° 和 14.07° 两个逐渐增强衍射峰，对应钙钛矿薄膜的 (002) 和 (001) 晶面，即 25 秒后 PbI₂ 晶体逐渐分解钙钛矿薄膜形成。扫描电镜 (SEM) 观测显示，在反应转化成钙钛矿之前，PbI₂ 薄膜整体呈现出六边形纳米片结构堆砌的平面，但有部分为无规则形态；滴定 25 秒内，随着时间推进，部分无规则的 PbI₂ 也逐步转变成六边形纳米片，即结晶度提高，与 XRD 结果一致；25 秒后，六边形纳米片平面逐渐发生变化呈局部的团簇，并且部分 Al₂O₃ 多孔层暴露出来，意味 PbI₂ 和 MAI 逐步反应，结构重组生成钙钛矿。阴极发光显微镜 (CL) 表征显示，25 秒后的薄膜探测出两个荧光发射峰，一个位于 480-550 纳米之间，对应 PbI₂；另一个位于 720-810 纳米，对应钙钛矿；即形成了混合的晶体聚合物，这是首次实

⁷ Jeffrey A. Christians, Philip Schulz, Jonathan S. Tinkham, et al. Tailored interfaces of unencapsulated perovskite solar cells for >1,000 hour operational stability. *Nature Energy*, 2018, 3 (1): 68-74.

验探测到这一产物。在给予充分反应时间后（60 秒）， PbI_2 基本完全转化为钙钛矿，但其转化过程并非是我们认识的自上而下反应；共聚焦激光显微镜（CLSM）动态横截面测试结果显示，最开始发生反应并转化成钙钛矿的是嵌入到多孔层的 PbI_2 和与 MAI 接触界面的 PbI_2 （即薄膜的上部和下部），而在多孔层界面的 PbI_2 薄膜（薄膜中部区域）反而是最后发生转化。该项研究首次通过实验手段系统地研究了连续沉积方法制备钙钛矿薄膜的反应机理，为制备高性能的钙钛矿薄膜及其光电器件奠定了坚实的理论基础。相关研究成果发表在《*Science Advances*》⁸。

（郭楷模）

廉价镍铁纳米泡沫催化剂高效裂解水为氢能经济开辟新道路

储存可再生能源最有前途的方法之一是利用可再生能源产生的多余电力将水分解成氢气。然而，目前用于催化分解水产氢高效催化剂均为贵金属催化剂，成本高昂；且催化剂材料耐久性普遍较差易分解失效。华盛顿州立大学 Yuehe Lin 教授领导的课题组在不使用硬或软模板情况下，通过化学反应动力学控制还原过程，制备了具有高表面积和均匀孔径分布的镍铁（ Ni_xFe_y ， x 和 y 为分子摩尔量）双金属的多孔纳米泡沫（NFs）。在高分辨率透射电子显微镜（HRTEM）图像中显示， Ni_xFe_y NFs 没有晶格条纹出现，且元素映射表明 Ni、Fe 均匀分布在整個纳米结构中，表征结果表明双金属的多孔纳米泡沫产物是高度无序的非晶态 Ni_xFe_y 合金。氮气的脱吸附测试分析证明了 Ni_xFe_y NFs 是多孔结构。为了探究其析氧反应（OER）的电催化活性，测试了不同化学组分的 Ni_xFe_y NFs。与标准的氧化钌（ RuO_2 ）催化剂相比，所有的 Ni_xFe_y NFs 的电流密度高于 RuO_2 电流密度，表明多孔 NFs 具有出色的 OER 活性。不同化学组分的镍铁复合金属样品之间， Ni_2Fe_1 NFs 的起始电位最低为 1.40V，提供 10 mA/cm^2 电流密度所需的电位仅为 1.42V，远低于 Ni（1.55V）、 Ni_1Fe_1 （1.46V）、 Ni_1Fe_2 （1.52V）和 RuO_2 催化剂（1.6V），且 Ni_2Fe_1 NFs 拥有最大的电化学表面积（ECSA）和周转频率（TOF）。Fe 浓度较高的 Ni_1Fe_1 和 Ni_1Fe_2 纳米颗粒的催化活性较低。活性降低是由于部分的催化剂形成了相分离的醋酸铁 FeOOH ，它在 $\text{Ni}(\text{Fe})\text{OOH}$ 活性物质中是电绝缘的。 Ni_2Fe_1 在经过连续 12 小时循环测试后催化活性基本没有损失，表现出良好的稳定性。表面敏感性测量和 XRD 测试结果表明在 OER 测试后 Ni_2Fe_1 催化剂的氧化态增加，即有可能形成了金属氧化物。穆斯堡尔谱研究表明，反应后 Ni_2Fe_1 NFs 发生相分离和转变引起了合金信号的消失和 Fe^{4+} 物种的出现。XAS 结果进一步证实了在 OER 反应前 Ni_2Fe_1 的无序性，以及 OER 反应后得到氧化金属物种金属羟基氧化物（ MOOH ， $\text{M}=\text{Ni}$ 或 Fe ）。由此得知， Ni_2Fe_1 NFs 的非晶态是电化学水氧化过程中形成高活性金属羟基氧化的主要因素。该项研究使用廉价

⁸ A. Ummadisingu, M. Gr äzel. Revealing the detailed path of sequential deposition for metal halide perovskite formation. *Science Advances*, 2018, DOI: 10.1126/sciadv.1701402

的镍和铁，设计了一种制备裂解水产氢的纳米泡沫催化剂的简单方法，在保障催化产氢效率前提下降低了成本，有助于氢能经济的发展。相关研究成果发表在《*Nano Energy*》⁹。

(刘竞 郭楷模)

新型氮化钛金属网隔膜破除液态金属电池短板

液态金属电池是一类新型储能电池，具有低成本、长寿命、高电流密度、高能量效率等优点，可以作为储能电站应用于太阳能和风能等分布式发电。然而，当前商业化的液态金属电池(Na-S 电池)，采用的 Na 离子选择性隔膜 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 并非 Al_2O_3 的稳定相，因此薄膜极易产生裂纹，导致电极材料之间发生严重的副反应，诱发燃烧或者爆炸风险。美国麻省理工学院(MIT)材料科学与工程系的 Donald R. Sadoway 教授领导的研究团队研发了一种金属网薄膜：氮化钛(TiN)不锈钢网隔膜，与 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 离子选择性薄膜相比，具有低成本、长寿命等优点，有效克服了液态金属电池的隔膜易破裂的短板。研究人员首先预先烧结制备多孔的 TiN 薄膜，随后通过气相沉积将 TiN 沉积到孔径约 $2000\mu\text{m}$ 的不锈钢网上。当研究人员在探索各种熔融金属电池的可行组分时，使用铅化合物进行一项测试受到了关注，他们打开了电池发现了熔融的铅液滴。这些铅化合物并没有像薄膜一样表现出惰性，而是像电极一样参与了电化学反应。这种膜选择性地允许特定分子通过而阻挡其他分子，它利用其电特性而不是基于材料中孔的尺寸进行选择通过。研究人员发现，在对各种化合物进行实验之后，涂有 TiN 溶液的普通钢丝网就可以起到与 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 隔膜完全类似的功能，但没有 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 隔膜的脆性和易碎性。研究人员为 TiN 膜做电池测试，电池阳极采用液态 Pb，阴极采用液态 Li-Pb 合金，电解液为 PbCl_2 溶解于 LiCl-KCl 熔盐电解液。通过循环测试，电池在 410°C 的温度下电流密度为 150 mA cm^{-2} ，库伦效率为 92.8%，单次循环平均容量损失仅为 0.00172%，400 次循环下能量效率为 71%，表现出优秀的循环稳定性。另外，这种全新涂覆氮化钛的不锈钢网隔膜可以应用于各种熔融电极中，即具有良好的普适性。该项研究开发了全新的低成本金属隔膜，很好地弥补液态金属电池的隔膜易破碎的短板，为该类电池技术走向大规模商业化应用奠定了关键的技术基础。相关研究工作发表在《*Nature Energy*》¹⁰。

(罗卫 郭楷模)

⁹ Shaofang Fu, Junhua Song, Chengzhou Zhu, et al. Ultrafine and highly disordered Ni₂Fe₁ nanofoams enabled highly efficient oxygen evolution reaction in alkaline electrolyte. *Nano Energy*, 2018, 44: 319.

¹⁰ Huayi Yin, Brice Chung, Fei Chen, et al. Faradaically selective membrane for liquid metal displacement batteries. *Nature Energy*, 2018, DOI: 10.1038/s41560-017-0072-1.

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 吴勘

电话：（027）87199180

电子邮件：jjance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

