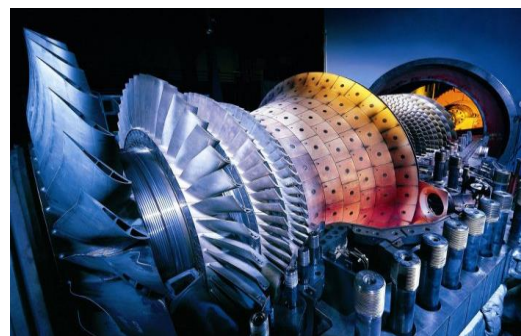


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 欧盟委员会发布废物资源化指导方针
- SEAB 提出 CO₂ 利用技术研发示范战略框架
- 2016 年全球清洁能源投资规模下降 新增装机大幅增长
- GWEC：2016 年全球新增 54.6 GW 风电装机容量
- 2016 年欧洲海上风电投资创历史新高达 182 亿欧元

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

联系人: 赵晏强 zhaoyq@whlib.ac.cn

郭楷模 guokm@whlib.ac.cn

电 话: (027) 87197630

目 录

决策参考

2016 年全球清洁能源投资规模下降 新增装机大幅增长·····	1
欧盟委员会发布废物能源化指导方针·····	2
SEAB 提出 CO ₂ 利用技术研发示范战略框架·····	3
GWEC: 2016 年全球新增 54.6 GW 风电装机容量·····	5
2016 年欧洲海上风电投资创历史新高达 182 亿欧元·····	7
NEI: 核电将在未来能源系统中扮演重要角色·····	8

项目计划

韩国 2017 年拟投资 14 万亿韩元发展新能源·····	9
DOE 与比利时核能研究中心进行核能研究与开发合作·····	10
MIT 和埃尼集团扩大能源合作·····	11

前沿与装备

MIT 开展全球首个硫化物固态电解质的机械性能探究·····	11
韩科学家研发酸碱通用的廉价高效析氢电催化剂·····	12
新型三氯化铝/尿素电解质增强铝锂离子电池的库伦效率·····	13
表面复合是影响多晶钙钛矿太阳电池性能的关键因素之一·····	14

本期概要

彭博新能源财经发布初步统计显示，2016 年全球清洁能源投资总额为 2875 亿美元，同比下滑 18%，其中海上风电投资总额达到 300 亿美元，同比增长 41%，创历史新高：尽管总投资规模下降，但可再生能源年度新增装机仍然大幅增长，其中光伏发电新增 73 GW，风电新增装机 57 GW。从投资类别来看，占比最大的仍是公用事业规模可再生能源项目的投资，累计投资总额达到 1870 亿美元，较 2015 年下降了 21%，其次屋顶光伏和小规模太阳能光伏项目。政府研发投入上涨 8% 达到 144 亿美元，但企业清洁能源研发投入大幅下降 21% 至 134 亿美元。由于产能过剩和电力需求放缓，中国清洁能源投资下滑了 26% 至 882 亿美元，而日本则下降 43% 至 228 亿美元；印度由于几个大型太阳能发电厂的顺利推进，投资水平基本与去年持平，达到 96 亿美元。受到海上风电以及大型陆地风电项目的驱动，欧洲地区投资增长 3% 至 712 亿美元。

欧盟委员会发布废物能源化的指导方针，旨在遏制目前的高填埋率，并以高效安全的方式从不可回收的废物中提取能源。指导方针主要包括：（1）对不同废弃物能源化过程进行分析，明确公共财政支持的作用；（2）指导成员国更好地利用经济手段和产能规划，避免或解决废物焚烧潜在的产能过剩问题；（3）基于废物能源化过程原料的预期变化，确定目前具有最大潜力的优化能源和物质产出的技术和过程。详见正文。

美国能源部长咨询委员会（SEAB）二氧化碳利用工作组公布了 CO₂ 综合利用技术的中期报告，提出了 CO₂ 利用和负排放技术研究、开发和示范（RD&D）的整体战略框架，旨在高效地捕获 CO₂ 并将其转化为具有经济价值的化学品，以实现全球碳排放量年均减少 10 亿吨的目标。鉴于不同技术途径的复杂性以及有限的时间，报告针对 CO₂ 利用技术 RD&D 提出了五大建议，包括：（1）系统建模；（2）利用自然生物碳循环；（3）CO₂ 到高价值化学品的合成转化；（4）二氧化碳地质封存；（5）二氧化碳捕集及其他分离技术。详见正文

全球风能理事会（GWEC）2 月 10 日发布《2016 全球风能统计》报告指出，2016 年全球风电产业新增装机容量 54.6 GW，较 2015 年下降 14%：新增装机容量排名前四位国家依次为：中国（新增装机容量 23.3 GW，占全球新增装机总量的 42.7%），美国（新增 8.2 GW，占 15%），德国（新增 5.4GW，占 10%）和印度（新增 3.6 GW，占 6.6%）。截至 2016 年底，全球风电累计装机容量达到 486.7 GW。中国风电装机容量达 168.6GW，占全球风电装机总量的 34.7%，为全球最大的风电市场。全球海上风电新增 2.2GW，累计装机容量达到 12.3GW。

欧洲风能协会（Wind Europe）发布《欧洲海上风电产业统计报告 2016》指出，2016 年欧洲海上风电投资达到 182 亿欧元，创历史新高，同比增长 39%：累计共有 3589 台风力发电机并网，装机总量达 12.6GW，分布在 10 个国家的 81 个风电场。2016 年，比利时、德国、荷兰和英国还有 11 个风电项目正在建设当中，完成后将增加 4.8 GW 装机，使得累计装机量可达 17.4 GW。

2016 年全球清洁能源投资规模下降 新增装机大幅增长

1 月 12 日，彭博新能源财经发布初步统计显示¹，受到中国经济放缓和光伏设备组件成本下降的影响，2016 年全球清洁能源²投资总额下滑 18%，从 2015 年的 3290 亿美元减少至 2875 亿美元，其中海上风电投资总额达到 300 亿美元，同比增长 41%，创历史新高。尽管总投资规模下降，但可再生能源年度新增装机仍然大幅增长，其中光伏发电新增 73 GW，风电新增装机 57 GW。

从投资类别来看，占比最大的仍是公用事业规模可再生能源项目投资，累积投资总额达到 1870 亿美元，较 2015 年下降了 21%。这部分投资包括风电场、太阳能热发电、太阳能光伏发电、生物质和地热等项目，最大的投资项目是欧洲一系列的海上风能项目；其次是屋顶光伏和小规模太阳能光伏项目，累计投资 398 亿美元，同比下跌 28%，主要原因是太阳能装机成本大幅下降。公共市场融资同比下滑 21%，达到 121 亿美元。风险资本和私募股权投资同比增长 19%，达到 75 亿美元。企业清洁能源研发投资大幅下降 21%，达到 134 亿美元；而政府研发投入上涨 8%，达到 144 亿美元。

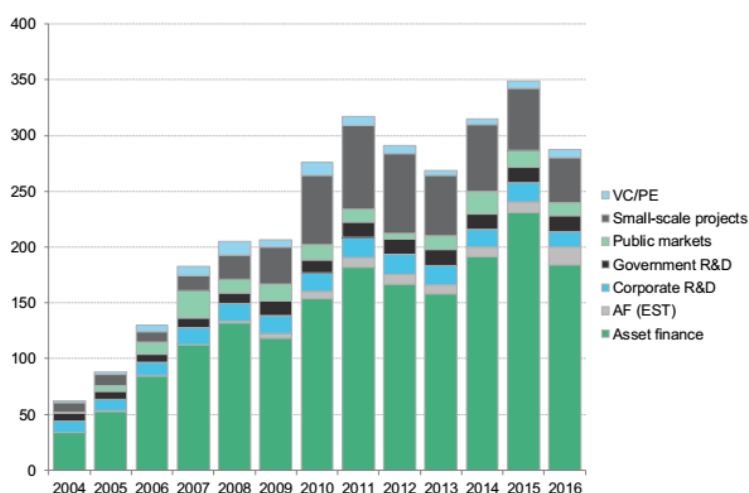


图 1 2004-2016 年清洁能源不同投资类别金额变化态势（单位：十亿美元）

从行业来看，太阳能再次成为吸引投资最多的行业，为 1137 亿美元，但较 2015 年下降了 34%，主要是因为光伏发电成本降低。风电投资下降了 9%，达 1125 亿美元；能源智能技术吸引了 416 亿美元投资，同比增长 29%；生物质能投资规模与 2015

¹ Record \$30bn year for offshore wind but overall investment down.

https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/01/BNEF_PR_2017-01-12_Annual_Investment-1.pdf

² 此报告所指清洁能源种类包括风能，太阳能发电，生物燃料，生物质、废弃物能源化，地热，小水电，海洋能，能效，如智能电网、能源管理、电动汽车及储能等能源智能技术，碳捕获与封存及低碳服务与支持等；但不包括大水电（>50 MW）、太阳能热利用，热电联产，可再生能源供热，核能。

年的水平大致相当，大约为 68 亿美元；生物燃料投资大幅下降 37%，仅为 22 亿美元；小型水电维持了 2015 年水平，为 35 亿美元；而低碳服务行业投资规模达到 43 亿美元，增长 5%；地热能为 27 亿美元，增长 17%；海洋能源投资下滑 7%，达 1.9 亿美元。

从区域来看，2016 年受到日本和中国市场投资大幅下降的影响，亚太地区清洁能源投资同比下降 26%，至 1345 亿美元，占全球总量的 47%。其中，由于产能过剩和电力需求放缓，中国清洁能源投资下滑了 26%，至 882 亿美元；而日本则下降 43%，至 228 亿美元；印度由于几个大型太阳能发电场的顺利推进，投资水平基本与去年持平，达到 96 亿美元。受到海上风电以及大型陆上风电项目的驱动，欧洲地区投资增长 3%，至 712 亿美元，但成员国发展情况不同：其中，英国增长 2%，至 259 亿美元，成为全欧清洁能源投资规模最大的国家；其次是德国，152 亿美元，同比下降 16%；法国 36 亿美元，同比下降 5%。美洲地区，2016 年美国清洁能源投资下滑 7%，至 586 亿美元；加拿大下降 46%，至 24 亿美元；巴西下降 5%，至 68 亿美元。而非洲最大经济体——南非清洁能源投资也大幅下降 76%，至 9.14 亿美元。新兴市场方面，约旦清洁能源投资规模首次冲破 10 亿美元大关，达 12 亿美元，较 2016 年飙升了 147%。

(郭楷模)

欧盟委员会发布废物能源化指导方针

1 月 26 日，欧盟委员会通报了“循环经济行动计划”中主要举措的落实和进展情况³，并向成员国发布了废物能源化的指导方针，对改进电气电子设备中有害物质的立法提出有针对性的建议。同时，与欧洲投资银行（EIB）合作建立了循环经济金融支持平台，以对接投资者和创新者，并提供融资可行性建议。

废物能源化旨在遏制目前的高填埋率，并以高效安全的方式从不可回收的废物中提取能源。不同的过程具有不同的环境影响和循环经济潜力，欧盟委员会确定了废物处理的优先级：从预防、再利用到回收和复原，最不可取的选择则是没有能量回收的填埋和焚烧。欧盟委员会联合研究中心（JRC）评估报告显示，用于焚烧的废物中所含能源的三分之二来自家庭废弃物、机械分拣废物和废木材的残渣，而家庭废弃物和分拣残渣占垃圾填埋场所浪费能量的四分之三以上。通过使用当前可用的技术，可将废物能源化过程的效率提高 25%以上。

欧盟委员会废物能源化指导方针提出的具体措施如下：

(1) 对不同废弃物能源化过程进行分析，明确公共财政支持的作用。包括在燃烧厂（例如发电厂）和水泥与石灰生产中废物的共焚烧；专用设施的废物焚烧；可

³ Circular Economy: Commission delivers on its promises, offers guidance on recovery of energy from waste and works with EIB to boost investment. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-17-104_en.htm

生物降解废物的厌氧消化；生产废物衍生的固体、液体或气体燃料；以及在热解或气化步骤之后的间接焚烧。

(2) 指导成员国更好地利用经济手段和产能规划，以避免或解决废物焚烧产能过剩问题。如引入或增加焚烧税，特别是对于低能量回收的过程，同时确保它们与更高的垃圾填埋税相匹配；逐步取消废物焚化的支持计划，在适当情况下支持废物等级体系中较高排名的重新排序；延缓建设新设施和停用老旧以及效率较低的设施。

(3) 基于废物能源化过程原料的预期变化，确定目前具有最大潜力的优化能源和物质产出的技术和过程。包括固体回收燃料（SRF）的气化和对燃烧设备中产生合成气进行混合焚化以替代化石燃料生产电和热；水泥和石灰生产中的混合焚化，以将水泥窑中废热转化为电力；使用超级加热器、利用烟气中所含的能量、使用热泵、为区域供冷网络提供冷却水；通过低温区域热网络分配废弃物的热量等专用设施的废物焚烧；将沼气升级为生物甲烷用于进一步分配和使用（例如注入燃气网络和作为运输燃料）。

（吴勘）

SEAB 提出 CO₂ 利用技术研发示范战略框架

2016 年底，美国能源部长咨询委员会（SEAB）二氧化碳利用工作组发布了 CO₂ 综合利用技术中期报告⁴，提出了 CO₂ 利用和负排放技术研究、开发与示范（RD&D）的整体战略框架，指出每个技术途径需要能够从空气或排放源高效地捕获 CO₂，并将 CO₂ 转化为具有经济价值的化学品，以实现全球 CO₂ 排放量年均减少 10 亿吨的目标。鉴于不同技术途径的复杂性以及有限的时间，报告针对 CO₂ 利用技术提出了五个领域 RD&D 建议，具体如下：

(1) 系统建模

由大气、陆地和海洋组成的自然系统之间的碳通量必须满足自然规律，由供电/供热、交通和工业组成的商业系统也必须满足经济性的要求。建议加强研究计划，以不同程度的空间和时间分辨率创建一系列全球碳平衡的系统模型，包括：

- a) 为碳管理提供一个全局的指导框架。
- b) 模拟全球碳平衡中涉及的复杂相互作用。
- c) 制定系统地研究参数敏感性的方法，量化不同变量的不确定性及其对政策制定的影响。
- d) 允许研究人员探索“假设”情景，从而识别最佳的技术途径（包括现有的以及全新的突破性技术）或技术组合。
- e) 确定绩效和成本目标，为这些技术途径制定开发战略。

⁴ Final Report of The Task Force on CO₂ Utilization.

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/SEAB-CO2-TaskForce-FINAL-with%20transmittal%20ltr.pdf>

- f) 制定路线图，加快技术和基础设施的规模化。
- g) 致力于全球数据收集和分析，以验证模型的预测准确度。

(2) 利用自然生物碳循环

- a) 提高光合效率，在不增加资源投入的情况下优化粮食、生物能源、饲料和纤维作物产量，并节约淡水、化肥和农药用量。
- b) 全面评价海洋大型藻类用于陆基能源以及作为液体运输燃料原料的优劣势。
- c) 通过利用土壤碳衰变的生物学和化学研究，确定减少土壤有机碳和 N_2O 排放影响的分解方法。
- d) 优化作物和管理技术，在更长的时间范围内稳定有机碳，包括加快向免耕农业的过渡，在转型后维持免耕土地。
- e) 加强利用自然生物碳循环的生态影响研究，包括使用系统建模了解全球碳排放的影响。

(3) CO_2 到高价值化学品的合成转化

- a) 降低无碳/中性热能（电力供热和高温过程热）的交付成本，低于 3 美分/千瓦时。
- b) 研究电催化和光电催化的基本原理，以开发基于高丰度元素的催化剂，减少在高反应速率下所需的超电势氧化还原反应（例如， CO_2 还原和氧气析出反应）。
- c) 在较低温度下，优选接近 1000°C 热化学氧化还原反应的材料，与当今化学工业的基础设施相兼容。
- d) 使用非同化酶催化来确定和操纵生物有机体基因，将 CO_2 固定到化学品和燃料中。
- e) 为化学反应器创建新的系统架构，利用有关 CO_2 转化的材料和生物体研究，扩展规模的同时达到成本目标，制造具有成本竞争力的化学品和燃料。
- f) 基于规模化工程系统分析，使用全球碳平衡的系统建模，以确定年均 10 亿吨级别的 CO_2 减排规模所需原料、基础设施和工艺过程的可用性以及机遇和挑战。

(4) 二氧化碳地质封存

- a) 制定路线图，从一些高纯度二氧化碳排放源加速二氧化碳封存和储层利用。
- b) 创建数据共享作为研究团体的共享资源，以记录二氧化碳注入、封存、采油、盐水回收和其他有助于理解和探讨有效协同优化和封存技术的相关资料。
- c) 开发和运行一套监测、测量和验证系统，能够准确预测多个世纪 CO_2 泄漏速率和碳捕集、利用与封存（CCUS）项目的环境影响。

(5) 二氧化碳捕集及其他分离技术

- a) 开发由高丰度元素制成的低成本 CO_2 吸附剂。
- b) 开发新的低成本 CO_2 吸附剂，具有无腐蚀性、无粘性液体、比水热容量低和

选择性结合特性。

c) 探寻新材料和新工艺，加工分离混相液体混合物。

d) 筹划、建造和示范可扩展的反应器设计，以提供大幅度降低碳捕集和分离成本的可能性。

(吴勘)

GWEC：2016 年全球新增 54.6 GW 风电装机容量

2 月 10 日，全球风能理事会（GWEC）发布《2016 年全球风能统计报告》⁵指出，2016 年全球新增风电装机容量 54.6 GW，较 2015 年下降 14%。2016 年新增装机容量排名前四位国家依次为：中国（新增装机容量 23.3 GW，占全球新增装机总量的 42.7%）、美国（新增 8.2 GW，占 15%）、德国（新增 5.4 GW，占 10%）和印度（新增 3.6 GW，占 6.6%）。截至 2016 年底，全球风电累计装机容量达到 486.7 GW。

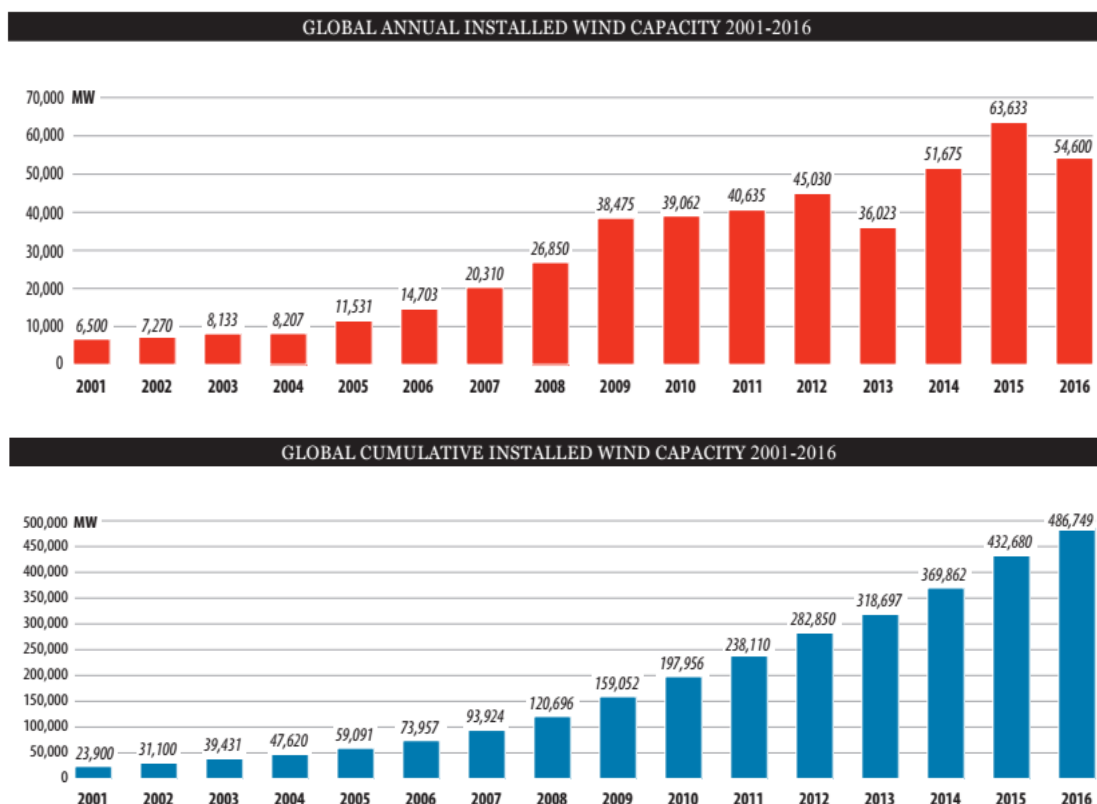


图 1 2001-2016 年全球风电装机发展态势

海上风电方面，2016 年全球新增装机容量 2.2 GW，主要国家包括德国（+813 MW）、荷兰（+691 MW）、中国（+592 MW）、英国（+56 MW）、美国（+30 MW）、韩国（+30 MW）和日本（+7 MW）。截至 2016 年底全球海上风电累计装机容量达 12.3 GW，中国凭借 2016 年爆发式增长，成功超越丹麦，位居累计装机榜单第三名。

⁵ Global Wind Statistics 2015. http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR_corrected.pdf

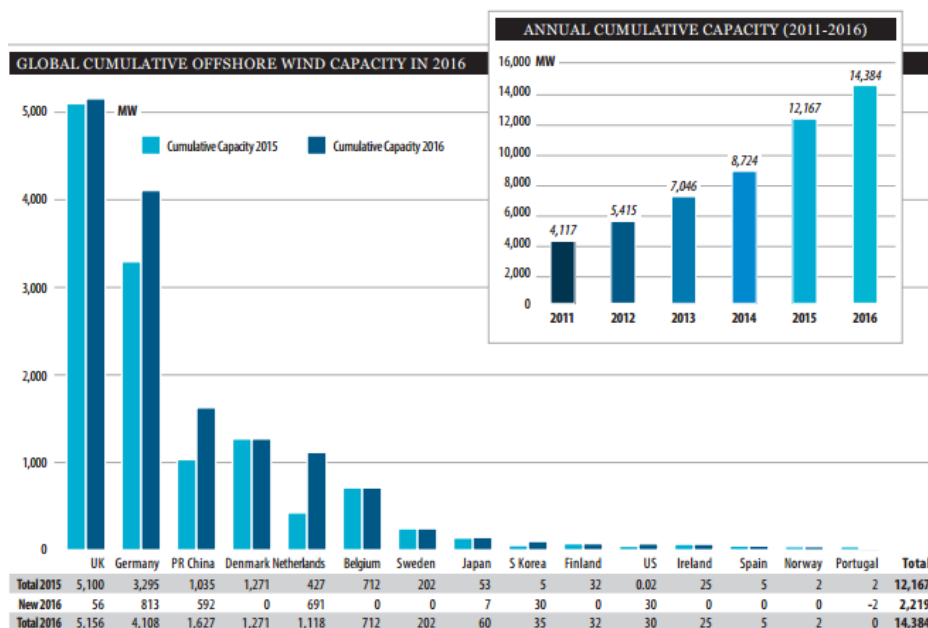


图 2 全球海上风电装机发展态势

由于 2015 年风电抢装后的回调，加上电力需求下降和电网消纳能力不足，致使 2016 年中国风电新增装机容量下降。即便如此，中国风电累计装机容量仍位居全球第一，达到 168.6 GW，占全球风电装机总量的 34.7%。美国新增装机容量和 2015 年增长基本持平，累计装机容量达到 82.1 GW。德国以新增 5.4GW 引领欧洲风电市场，累计装机容量超过 50 GW，成为世界上第三个超过这一里程碑的国家。印度以 3.6GW 创下本国新增装机新纪录，累计装机容量达到 28.7GW，位列全球第四。

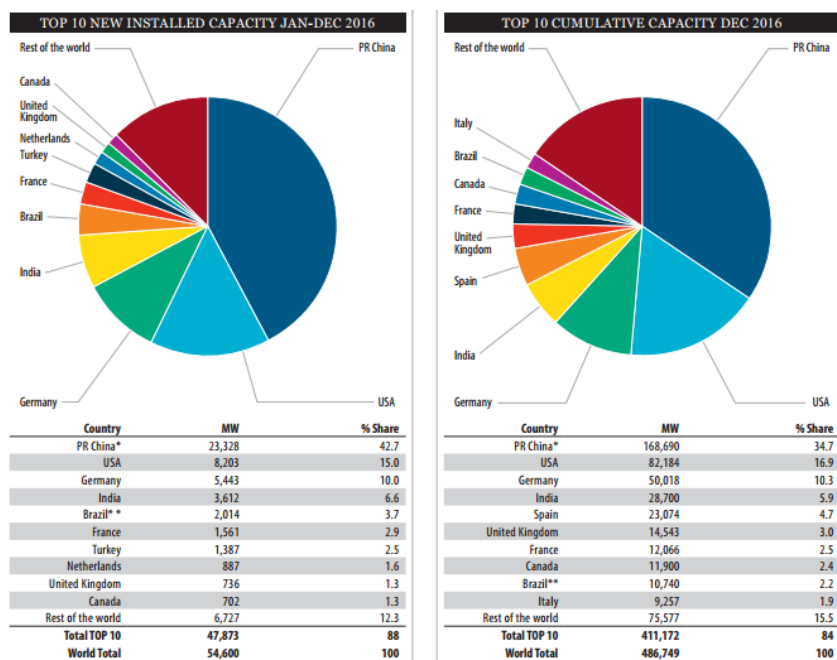


图 3 2016 年全球风电新增容量（左图）和累计容量（右图）排名前十的国家

（郭楷模）

2016 年欧洲海上风电投资创历史新高达 182 亿欧元

1 月 26 日，欧洲风能协会（Wind Europe）发布《欧洲海上风电产业统计报告 2016》⁶指出，2016 年欧洲海上风电投资达到 182 亿欧元，创历史新高，同比增长 39%。全年新增 338 台风力发电机并网，新增装机容量 1558MW，较 2015 年减少了 48%（图 1）；累计共有 3589 台风力发电机并网，装机总量达 12.6GW，分布在 10 个国家的 81 个风电场。2016 年，比利时、德国、荷兰和英国还有 11 个风电项目正在建设当中，完成后将增加 4.8 GW 装机，使得累计装机量可达 17.4 GW。

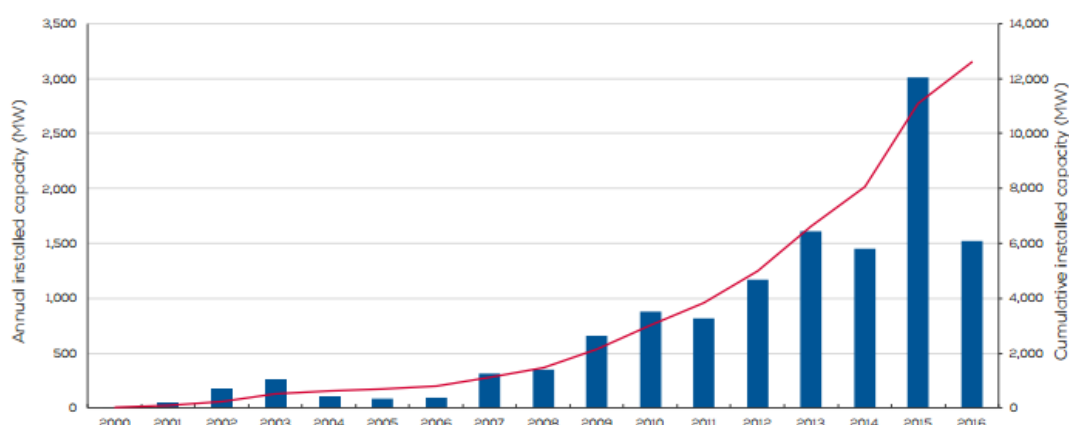


图 1 2000-2016 年欧盟海上风电年度装机容量变化态势（单位：MW）

2016 年欧洲新增并网海上风电分布在德国、荷兰和英国。德国装机量占到一半以上（155 台，813 MW，占比 52.1%），荷兰次之（177 台，691 MW，占比 44.3%），第三大市场是英国（7 台，56 MW，占比 3.6%）。主要风力涡轮机制造商是西门子（337 台，1511 MW，96.4%），其次是三菱重工维斯塔斯（7 台，56 MW，3.6%）。由于 2016 年首台 8 MW 涡轮机已在海上并网，欧洲海上风力涡轮机平均容量从 2015 年的 4.2 MW 提高到 4.8 MW，并网海上风电场平均规模为 379.5 MW，相比 2015 年增加了 12.3%。2016 年海上风力发电场的平均水深从 2015 年的 27.2 m 增加到 29.2 m，平均离岸距离为 43.5 km，比 2015 年增加了 0.2 km。

就装机总量来看，截至 2016 年底，英国依然是欧洲最大的海上风电国家，其装机总量达 5156 MW，占全欧总装机容量的 40.8%；紧随其后是德国（4108MW，32.5%），丹麦则以 10.1%（1271 MW）跻身前三甲，荷兰（1118 MW，8.8%）取代比利时（712 MW，5.6%）成为欧洲第四大海上风电大国。就风力涡轮机制造商市场占有率而言，西门子依旧雄踞榜首，市场占有率达 67.8%；紧随其后的是三菱重工维斯塔斯（16.4%）和苏司兰（6.2%）。截至 2016 年底，欧洲海上风电场共计安

⁶ Europe added 1.5GW of offshore wind in 2016; record €18 billion invested.
<https://windeurope.org/newsroom/press-releases/europe-added-1558mw-of-offshore-wind-in-2016-record-18-billion-euros-invested/>

装了 4152 个基座结构，其中单桩式（monopiles）基座依然为主流基座结构，数量达到 3354 个（占比 80.8%）；其次是重力式（gravity）基座结构（313 个，7.5%）；随后依次为导管式（jackets）结构（272 个，6.6%）、三脚架结构（132 个，3.2%）和三桩式（80 个，1.9%）以及一个浮动式海上风力涡轮机。

虽然 2016 年并网容量相对 2015 年有所下滑，但是正在建设的大量项目意味着并网容量在未来两年内将明显增加。欧洲风能协会指出，还有 24.2 GW 的项目已获准建设，7GW 的项目正在申请许可证，总计 65.6 GW 的项目正处于规划阶段。然而，由于欧盟成员国到 2020 年内要完成其“国家可再生能源行动计划”（NREAP），项目启动的数量将下降，容量增加将在 2020 年停止。到 2020 年，欧洲海上风电总容量将达 24.6 GW。

（吴勘 郭楷模）

NEI：核电将在未来能源系统中扮演重要角色

1 月 26 日，美国核能研究所（NEI）在其官网发表文章指出，未来 25-30 年内，美国轻水反应堆技术和设计将日新月异，而基于轻水反应堆的核电将成为美国电力资源中的重要组成部分，对满足美国社会未来的能源需求至关重要⁷。当前，轻水反应堆、小型模块化轻水反应堆和先进的非轻水反应堆这三种核能技术已经取得了显著的进展，而若干新反应堆设计将更具创新性和先进性。

一、小型模块化反应堆迎来新时代

小型模块化反应堆（SMR）预计将在 2020 年开始部署。SMR 作为更小、更简单的轻水反应堆，它们可以在工厂建造，并通过卡车、火车或驳船运送到核电站现场组装。SMR 的发电容量（起始小于 300MW）可以分阶段增加，为面对不可预测的需求提供更多的灵活性。SMR 的施工周期短（每个模块约 36 个月）、成本低、投资回报快。它们较小的反应堆芯通常也具有独特的安全特性，例如反应堆可以无限期关闭和冷却，而不需要人为干预来添加水或外部电力供应，这些特征有助于节约成本。目前，SMR 已经取得了诸多进展：

（1）NuScale Power 公司已向美国核监管委员会（NRC）提交 SMR 商业电厂设计认证审查申请，这是首个提交的 SMR 设计认证申请，标志着小型堆发展达到了一个重要里程碑。首个 NuScale 商业规模 SMR 发电厂计划在爱达荷国家实验室现场建造，预计于 2026 年开始正式投入商业运行。

（2）由 BWX 技术公司和 Bechtel 公司合资设计开发的 180 兆瓦 BWXT mPower，Holtec 国际公司设计的 SMR-160 和西屋电气公司 SMR。

（3）近日，NRC 审查了田纳西河谷管理局（TVA）2016 年 5 月早期场地许可

⁷Nuclear Technology Innovations—A Look Forward.
<https://www.nei.org/News-Media/News/News-Archives/Nuclear-Technology-Innovations-A-Look-Forward>

证申请，以研究其位于田纳西州东部克林奇河畔的 SMR 场址问题，NRC 将审查项目的现场安全和环境及应急准备要求。美国能源部（DOE）提供了 mPower 和 TVA 两个项目的成本分摊资金，资助额达 4.52 亿美元。

二、新一代先进反应堆研发加快步伐

核能技术创新不仅受到国会和历届政府的关注，而且也受到风险资本家、环保主义者和技术创新者的关注。更先进的创新核能技术方案已在开发中，预计到 2030 年代中期部署。

美国能源部和核监管委员会都发布了先进反应堆技术路线图，并为三种先进的反应堆技术成立了具体技术工作组。有近 60 家公司和研究机构正在开发先进的反应堆设计，包括熔盐反应堆、液态金属冷却反应堆和高温气冷反应堆。

2015 年 11 月，白宫宣布加速核能创新门户（GAIN）计划，帮助核能界直接获得能源部的技术、监管和财务专门知识。2016 年 1 月，能源部宣布提供 8000 万美元资助 X 能源有限责任公司和泰拉能源公司这两个反应堆技术开发商与国家实验室、大学和其他公司合作开发先进的反应堆设计。

加拿大陆地能源公司近日宣布，计划在 2019 年之前向 NRC 提交热功率 400 兆瓦的一体化先进熔盐反应堆许可证申请。同时，该公司还在寻求 12 亿美元的联邦贷款担保支持。

（吴勘）

项目计划

韩国 2017 年拟投资 14 万亿韩元发展新能源

韩国贸易、产业与能源部于 1 月 4 日宣布，2017 年决定将新能源产业投资额增加 25%（以 2016 年为基准），达到 14 万亿韩元（约合 120 亿美元），为新能源产业发展创造良好的市场条件，培育新的经济增长点⁸。其中，韩国政府将投资 1.4 亿韩元，同比增长 17%；公共机构投资 5.1 万亿韩元，减少 6%；金融机构投资预计 4.1 万亿韩元，几乎翻番；企业将投资 3.2 万亿韩元，大幅上涨 88%。

⁸ Korea to invest 14 trillion won into new energy projects.
http://english.motie.go.kr/common/download.do?fid=bbs&bbs_cd_n=2&bbs_seq_n=506&file_seq_n=1

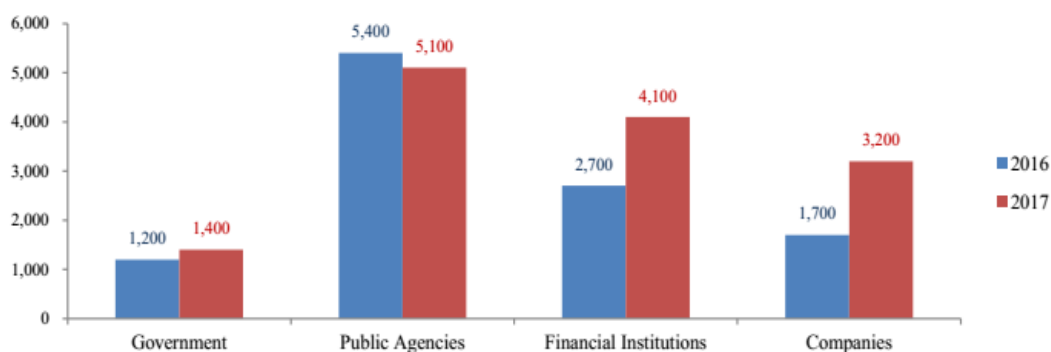


图 1 韩国不同部门 2016-2017 年新能源投资金额对比（单位：十亿韩元）

韩国政府不仅要继续改革其投资结构，也将出台更多的激励措施，刺激更多的私营部门投资，以改善新能源产业的商业环境和培育新的经济增长引擎。此外，政府还倡议加强公共和私营部门合作，以消除新能源投资存在的潜在风险。

金融机构计划投资的 4.1 万亿韩元将以一系列贷款和金融产品形式提供给新能源企业。其中，6300 亿韩元（5.35 亿美元）为贷款资金，1.4 万亿韩元（12 亿美元）为基金，1.8 万亿韩元（15 亿美元）作为项目融资资金和 2900 亿韩元（2.46 亿美元）作为投资资金。

与此同时，韩国电力公司（KEPCO）和 LG U+ 签署了合作协议，计划在 10 年内投资 5000 亿韩元，建设 2000 家基于清洁能源运营的智能工厂。此外，除了开展工厂和商业建筑节能，韩国土地与房屋公司联合 LG 电子公司还要进行居民住宅建筑节能项目，今年计划为 2000 户家庭安装清洁能源和智能家居系统，以动态监控能源消耗，节约能耗，并以此为试点逐步扩大推广。

（郭楷模）

DOE 与比利时核能研究中心进行核能研究与开发合作

1 月 13 日，美国能源部（DOE）和比利时核能研究中心（SCK•CEN）签署了一项核能研究与开发合作谅解备忘录⁹，将推动双方未来在辐照和辐照后检测（PIE）领域开展合作，包括在比利时反应堆-2（BR-2）和相关的高中活性（LHMA）热室实验室，以及爱达荷国家实验室（INL）的先进试验反应堆（ATR）、瞬态反应堆试验（TREAT）设施和高温试验实验室（HTTL）等进行的活动计划。

SCK•CEN 和 INL 之间于 2016 年 11 月 14 日曾签署了合作研究和开发协议（CRADA），目前正在进行初步合作以进行碳化硅、铀合金和铀陶瓷材料的辐照测试和辐照后检测计划，并开发相关传感器和仪器。核工业界可以通过“加速核能创新

⁹ MOU between the United States Department of Energy and the Belgian Nuclear Research Centre concerning Collaboration in Nuclear Energy Research and Development.
<https://www.energy.gov/ne/articles/mou-between-united-states-department-energy-and-belgian-nuclear-research-centre>

门户”(GAIN)计划获得上述相关专业知识,来帮助其实现更快、更具成本效益的创新核能技术开发,并向商业化发展。

(吴勘)

MIT 和埃尼集团扩大能源合作

1月16日,麻省理工学院和意大利能源公司埃尼集团(Eni)签署了一份2000万美元为期四年的新合作协议¹⁰,旨在强化Eni作为MIT能源研究所(MITEI)创始成员地位,并为MITEI的三个低碳能源中心提供研究支持,以推进太阳能、储能以及碳捕集、利用与封存等关键技术的研发,以应对气候变化问题。

到目前为止,2010年在MIT成立的Eni-MIT太阳能前沿研究中心取得了多项研究成果,包括可以印刷在织物或纸张表面的最薄、最轻的太阳电池,以及可以应用于建筑窗户上的收集太阳能新材料等。

此外,MIT和Eni与意大利米兰理工大学合作,设计和建造了一个全尺寸低成本太阳能聚光器,并应用于太阳能热发电技术试点项目,推动其商业化。MIT-Eni合作还包括开发可穿戴技术和系统以提高工作场所的安全性,环境研究(通过该研究已经产生了全新的土壤评估方法,并且已应用于现场测试)以及石油储层先进建模。

(吴勘)

前沿与装备

MIT 开展全球首个硫化物固态电解质的机械性能探究

全固态锂离子电池采用固态电解质替代传统易燃有机液态电解液,有望从根本上解决电池安全性问题,然而固态电解质材料随着应力产生的机械降解情况影响着电池的稳定性和耐久性。麻省理工学院 Krystyn J. Van Vliet 教授研究团队利用仪器化压痕法首次对玻璃态的硫化物固态电解质 $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5$ (LPS) 的机械性能进行了详细的测试研究,获得了杨氏模量、硬度和断裂韧性三个关键性能参数,深刻了解了该类电解质材料的机械性能,为设计和研发全固态电池提供了重要的科学参考。研究人员首先通过溶体快淬法制备了玻璃态的 LPS 固态电解质,随后将其置于矿物油浴中(避免样品与空气中的水分发生反应影响测试结果)进行杨氏模量、硬度系数和

¹⁰ MIT and Eni extend energy collaboration. <http://energy.mit.edu/news/mit-eni-extend-energy-collaboration/>

断裂韧性等一系列的机械性能表征。研究结果显示，LPS 的杨氏模量约为 18.5GPa，远低于氧化物晶态固体电解质的 70GPa；其布氏硬度数值约为 1.9GPa，与铝合金的硬度相近，但比碱金属高出三个数量级；测试的断裂韧性数值为 0.23 MPa m^{1/2}，与脱锂后的锂钴氧（Li_xCoO₂）正极材料的断裂韧性数（0.25-0.25 MPa m^{1/2}）相当。总体而言 LPS 固态电解质材料在经受应力时，可以轻易地变形，在足够高的应力下，它可以像脆性玻璃片一样裂开，即 LPS 固态电解质比电池理想的电解质更硬脆。断裂性能对于预测材料作为电解质应用于电池中是否可能破裂或破碎是至关重要的。通过详细了解 LPS 各个机械属性，研究人员可以计算该材料在断裂之前能承受多大的应力，进而为后续的电池结构设计提供重要的科学数据参考。因此，尽管 LPS 较为硬脆，但只要深刻了解其机械性能，并且电池结构设计得当，该材料仍然具有作为固态电解质的潜力。相关研究成果发表在《Advanced Energy Materials》¹¹。

（郭楷模）

韩科学家研发酸碱通用的廉价高效析氢电催化剂

电催化析氢反应（HER）是有效的制氢方法，但商业化铂基催化剂成本高、稳定性差等因素限制了电解水制氢工业的发展。因此，设计和制备廉价、高效和稳定的 HER 电催化材料是该研究领域的核心课题。韩国蔚山科学技术大学 Jong-Beom Baek 教授课题组研发了一种全新的酸碱通用、廉价高效的光解水电催化剂，其催化活性与商用铂基催化剂相当，为探索 and 开发高效廉价的析氢催化剂提供了新思路。研究人员以氯化钌（RuCl₃）为 Ru 源，硼氢化钠为还原剂合成了 Ru 金属纳米颗粒，随后将其分散到二维多孔有机骨架 C₂N 上，在惰性气体氛围下退火处理后得到 Ru@C₂N 复合催化剂。透射电镜（TEM）表征结果显示，Ru 金属纳米颗粒的平均粒径约为 1.6nm，均匀地分散在有机骨架 C₂N 上。氮气的脱吸附测试显示，Ru@C₂N 复合催化剂的比表面积为 400.1 m² g⁻¹，平均孔径为 3.37nm，大于有机骨架 C₂N 的 280.5 m² g⁻¹ 和 0.83nm。随后研究人员分别研究了在酸性和碱性环境下 Ru@C₂N 复合催化剂的 HER 催化活性。在 0.5M 的 H₂SO₄ 溶液中，10 mA cm⁻² 电流密度下，其过电位为 13.5 mV；在 1M 的 KOH 溶液，同样的电流密度条件下，其过电位为 17 mV。比同条件下的商用 Pt/C 催化剂过电位还低一些（在 0.5M H₂SO₄ 中为 16 mV；1.0M KOH 中为 20 mV）。在酸性溶液中，经过 1000 次循环后 Ru@C₂N 复合催化剂极化电流只移动了 10 mV，小于商用的 Pt/C 催化剂偏移量 47mV，表现出酸性稳定性；在碱性环境下，Ru@C₂N 复合催化剂表现出类似的稳定性。更为关键的是，Ru@C₂N 复合催化剂在 25 mV（相对可逆氢电极）时表现出极高的产氢速率，其催化转化率

¹¹ Frank P. McGrogan, Tushar Swamy, Sean R. Bishop, et al. Compliant Yet Brittle Mechanical Behavior of Li₂S-P₂S₅ Lithium-Ion-Conducting Solid Electrolyte. *Advanced Energy Materials*, 2017: 1602011.

(TOF)在 0.5M H₂SO₄ 中达到 0.67 H₂ s⁻¹, 1.0M KOH 中达到 0.76 H₂ s⁻¹。即 Ru@C₂N 复合催化剂 HER 催化活性与 Pt/C 催化剂相当, 甚至更优。相关研究成果发表在《Nature Nanotechnology》¹²。

(郭楷模)

新型三氯化铝/尿素电解质增强铝锂离子电池的库伦效率

铝离子电池因具有充放电速度快、寿命长、成本低和安全环保等优点受到研究人员的广泛关注, 成为近年来二次电池领域研究的前沿热点。然而较低的电压和能量密度阻碍了其商业化应用。斯坦福大学 Hongjie Dai 教授课题组研发了新型的三氯化铝/尿素 (AlCl₃/urea, 两者的摩尔比为 1.3) 类离子液体 (ILA) 电解质, 与石墨正极和铝金属负极组装成铝离子电池。恒电流充放电测试结果显示, 在 100 mA g⁻¹ 的电流下, 电池需要经过 5-10 次的循环后才能获得稳定的电容量和库伦效率, 表明在充放电的初始阶段存在副反应。电池初次循环的库伦效率约为 90%, 经过 5-10 次循环后提升到接近 100%, 经过 180 次循环后最终稳定在 99.7%, 呈现出优秀的循环稳定性。并且随着循环次数增加, 电池的能量效率逐渐增大, 100 mA g⁻¹ 和 50 mA g⁻¹ 的电流下分别达到 87.8% 和 90%。在 50 mA g⁻¹、100 mA g⁻¹ 和 200 mA g⁻¹ 不同充放电电流下, 电池的比能量密度分别为 75 mAh g⁻¹、73 mAh g⁻¹ 和 64 mAh g⁻¹, 表现出优秀的倍率性能。为了探究电池的工作机理, 研究人员进一步对工作电池进行原位拉曼谱测试, 结果显示电池充放电过程中电解液出现了 AlCl₄⁻、[AlCl₂·(urea)]⁺ 和 Al₂Cl₇⁻ 三种离子。因此, 研究人员推测充放电过程中, 石墨正极发生的化学反应式为: AlCl₄⁻ + C_x·e⁻ → C_x[AlCl₄]⁻, 而铝金属正极化学反应式可归结为: Al₂Cl₇⁻ + 3 e⁻ → Al + 7AlCl₄⁻ 和 2[AlCl₂·(urea)]⁺ + 3 e⁻ → Al + AlCl₄⁻ + 4(urea)。即在充电的过程中, 是 AlCl₄⁻ 离子从铝负极穿梭到石墨正极并嵌入到石墨插层当中; 相反放电的时候, AlCl₄⁻ 离子则从石墨插层脱嵌。该项研究开发了全新的低成本和安全环保的三氯化铝/尿素复合类离子液体电解质, 不仅提升了铝离子电池的性能还降低了电池的制造成本, 有望开辟全新的二次电池技术。相关研究成果发表在《PNAS》¹³。

(郭楷模)

¹² Javeed Mahmood, Feng Li, Sun-Min Jung, et al. An Efficient and pH-universal ruthenium-based catalyst for hydrogen evolution reaction. *Nature Nanotechnology*, 2017, doi:10.1038/nnano.2016.304

¹³ Michael Angell, Chun-Jern Pan, Youmin Rong, et al. High Coulombic efficiency aluminum-ion battery using an AlCl₃-urea ionic liquid analog electrolyte. *PNAS*, 2017, 114 (5): 834-839.

表面复合是影响多晶钙钛矿太阳能电池性能的关键因素之一

钙钛矿电池具有低成本、高效率和可溶液制备等优点，成为近年来太阳能电池研究领域的热点和前沿，吸引了全球科研人员的研究兴趣。如何解决钙钛矿薄膜中晶界和表面缺陷所造成的载流子复合问题成为进一步提高电池性能的关键。美国国家可再生能源实验室的 Matthew C. Beard 教授研究团队利用非平衡化学计量的前驱体，通过旋涂法制备了多晶和单晶甲基碘化铅（MAPbI₃）钙钛矿薄膜，随后利用瞬态反射光谱（TR）技术研究制备样品的表面载流子动力学特性。时间分辨光致发光谱测试结果显示，单晶 MAPbI₃ 载流子扩散程达到了~1.9 cm² s⁻¹，是多晶样品（~0.17 cm² s⁻¹）的 11 倍多，扩散程越大意味着载流子寿命越长，但实验测试所得的结果显示，多晶 MAPbI₃ 的载流子寿命反而更长达到了~477ns，近 5 倍于单晶样品。为了一探究竟，研究人员应用 TR 谱研究多晶和单晶样品载流子复合速度情况。根据相空间填充理论，TR 谱反应的是样品表面到晶体内部约 20 纳米深度的载流子动力学行为。测试结果显示，多晶 MAPbI₃ 表面的 TR 谱衰减速度小于单晶样品，即多晶 MAPbI₃ 的表面载流子复合情况小于单晶样品。通过进一步的数据换算得到，多晶 MAPbI₃ 的表面载流子复合速度（SRV）为~0.45 cm s⁻¹，比单晶 MAPbI₃ 的 SRV 低了一个数量级，与表面钝化处理的高性能半导体光伏器件的 SRV 相当。即载流子的表面复合是影响多晶 MAPbI₃ 太阳能电池载流子寿命和性能的关键因素。研究人员指出，这主要是由于多晶钙钛矿薄膜的晶粒表面出现了表面钝化现象，从而抑制了表面载流子的复合。该项研究通过研究发现，表面非辐射载流子复合是影响多晶钙钛矿材料太阳能电池性能的关键，有助于深入理解钙钛矿太阳能电池工作机理，为设计和开发高性能钙钛矿电池提供重要的科学参考。相关研究成果发表在《Nature Energy》¹⁴。

（郭楷模）

¹⁴ Ye Yang, Mengjin Yang, David T. Moore, et al. Top and bottom surfaces limit carrier lifetime in lead iodide perovskite films. *Nature Energy*, 2017, 2: 16207.

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 高端洁净煤电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

电话：（027）87199180

电子邮件：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

