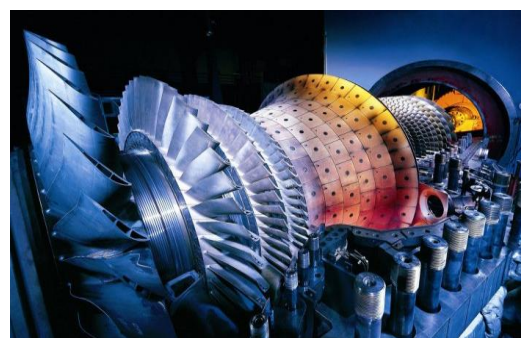


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- WEC：全球人均能源需求将在 2030 年达到峰值
- IEA 发布报告大幅上调可再生能源未来五年增长预测
- GWEC：到 2050 年全球风电占比有望达到 40%
- IEA 四大建议敦促日本能源供应去碳化
- DOE 资助 8000 万美元建设超临界 CO₂ 动力循环中试设施

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

WEC: 全球人均能源需求将在 2030 年前达到峰值	2
IEA 发布报告大幅上调可再生能源未来五年增长预测	3
GWEC: 到 2050 年全球风电占比有望达到 40%	6
IEA 四大建议敦促日本能源供应去碳化	10

项目计划

DOE 资助 8000 万美元建设超临界 CO ₂ 动力循环中试设施	12
DOE 资助 3000 万美元推进氢能和燃料电池技术研发	12

前沿与装备

新型血红素催化剂改善锂空气电池性能	13
二维二硒化锡/还原石墨烯复合负极用于钠离子电池	14
新型氧化锌/碳纤维复合纳米刷限硫载体提高锂硫电池寿命	15



我中心现已开通微信公众号 (CASEnergy), 欢迎扫码关注

专辑主编: 陈 伟

联系邮箱: jiance@whlib.ac.cn

本期责编: 郭楷模

出版日期: 2016 年 11 月 15 日

本期概要

世界能源理事会 (WEC) 发布《世界能源情景展望 2016》报告, 指出全球能源系统正在经历着前所未有的“大转型”, 通过三个能源发展情景模型 (现代爵士、无尽交响曲和重金属摇滚), 对至 2060 年全球能源需求的发展趋势进行了预测: 全球一次能源需求增速将放缓, 人均一次能源需求将在 2030 年前达到峰值, 主要原因是能效技术的创新突破和更加严格的能源政策驱动。到 2060 年, 全球电力需求将翻一番。光伏发电及风电产业将持续增长, 非化石能源将主导电力来源。化石燃料 (煤和石油) 在一次能源消费中的占比将下降。如何从传统燃油汽车向低成本电动汽车转型是推进全球能源低碳化进程中面临的艰巨挑战。实现全球温度升高幅度限制在 2 摄氏度以内需要各国持续不懈地加大努力。

国际能源署 (IEA) 发布《可再生能源中期市场报告 2016》, 指出受到技术进步、成本快速下降和政府强有力的政策支持的推动, 未来 5 年可再生能源仍将是全球电力增长的最大来源: 到 2021 年预计全球新增可再生能源装机容量将大幅上涨 42%, 较去年的预期上升 13%。同时为了促进可再生能源的持续健康发展, 报告还呼吁各国政府减少政策不确定性, 以充分发挥可再生能源在应对气候变化和加强能源安全上的作用, 并分别向 OECD 国家和发展中国家政策制定者提出了建议。详见正文。

全球风能理事会 (GWEC) 发布双年度报告《全球风能展望 2016》, 指出风电在未来能源系统中将扮演举足轻重的作用, 也成为塑造能源转型未来的决定力量: 报告利用四种情景 (新政策情景、450 情景、稳健情景和超前情景) 对 2020、2030 和 2050 年的风能发展进行了预测。最乐观估计到 2030 年全球风电装机将达到 2110 GW, 能够满足 20% 的电力需求, 年均吸引投资近 2000 亿欧元、创造 240 万个新的就业机会、削减碳排放 33 亿吨; 到 2050 年全球风电装机将超过 5800 GW, 能够满足约 40% 的电力需求, 年均吸引投资近 2750 亿欧元、创造 420 万个新的就业机会、削减碳排放 90 亿吨。详见正文。

国际能源署 (IEA) 发布《日本能源政策评估》报告, 肯定了日本长期以来注重能效的传统, 同时指出日本应该综合可再生能源、核能以及高效火电等方式, 平衡且多元化其能源结构, 推动建立一个更为安全、经济且低碳化的能源体系: 从而更好地履行碳减排承诺, 推动全球发展向绿色低碳转型。为了敦促日本政府能源去碳化, 报告给日本政府提出了四方面的战略建议: (1) 努力构建均衡和多样化的能源系统, 包括融合更多的可再生能源、核能、高效火电等, 实现能源安全、经济效益和环境保护的协同发展。(2) 采取一切必要措施, 以确保 2030、2050 年碳减排目标的实现。(3) 完成电力和天然气市场改革的实施计划, 确保监管机构有足够资源专门为电力系统建立一个完备的国家电网和市场设计。(4) 持续支持和推进可再生能源部署。

美国能源部资助 8000 万美元设计、建设和运营一个 10 MWe 超临界 CO₂ 动力循环中试设施: 项目为期六年, 将通过工业界和政府合作, 测试和示范超临界 CO₂ 布雷顿循环技术的潜在能效和成本收益, 新设施循环效率有望超过 50%, 应用于地热、煤炭、核能和太阳能热发电将显著提高能量转化效率。

WEC：全球人均能源需求将在 2030 年前达到峰值

10 月 21 日，世界能源理事会（WEC）在伊斯坦布尔举行的第 23 届世界能源大会上发布了《世界能源情景展望 2016》报告¹，指出全球能源系统正在经历着前所未有的“大转型”，全球人均能源需求将在 2030 年达到峰值。此外，基于稳定人口增长、创新技术发展、严峻环境挑战及政治经济博弈等假设，报告通过三个能源发展情景模型（现代爵士、无尽交响曲和重金属摇滚），对至 2060 年全球能源需求的发展趋势进行了预测。报告要点如下：

全球一次能源需求增速将放缓，人均一次能源需求将在 2030 年前达到峰值，主要原因是能效技术的创新突破和更加严格的能源政策驱动。高能效技术与数字技术结合将带来智能电网、智能建筑、智能家居、办公室和智能城市。而先进制造、自动化、远程办公等技术也会颠覆传统的能源系统。因此，三种情景模型结果显示：无尽交响乐情景下，到 2060 年全球一次能源消费需求预计将增长 22%；现代爵士情景增长 38%；重金属摇滚情景增长 46%。人均年度一次能源需求将在 2030 年前达到峰值，为 1.9 吨油当量。

到 2060 年，全球电力需求将翻一番，主要驱动因素是扩大的中产阶级规模、增加的人均收入和家庭电器拥有量，因此要加大清洁能源基础设施投资和提高清洁能源在电力系统中的集成比例。现代爵士情景下，到 2060 年预计电力将占到全社会终端能耗的 28%；无尽交响曲情景占到 29%；重金属摇滚情景占到 25%。到 2060 年，电力行业投资额预计在 35-43 万亿美元之间。

光伏发电及风电产业将持续增长，非化石能源将主导电力来源。在 2014 年电力生产总量中，光伏发电和风电总共占比仅为 4%，而到 2060 其占比预计将提升至 20%-39%：其中现代爵士情景下，到 2060 年光伏发电和风电在发电总量中占比预计将达到 30%；无尽交响乐情景达到 39%；重金属摇滚情景达到 20%。此外，其他非化石能源电力（水电及核电）也将稳步增长。

化石燃料（煤和石油）在一次能源消费中的占比将下降。过去 45 年化石燃料在一次能源中的占比仅下降了 5%，从 1970 年的 86%到 2014 年的 81%。但随着新技术和可再生能源发展，全球能源结构将越来越多元化。其中现代爵士情景下，到 2060 年化石燃料在一次能源中的占比预计将下降到 63%；无尽交响乐情景下降到 50%；重金属摇滚情景下降到 70%。

如何从传统燃油汽车向低成本电动汽车转型是推进全球能源低碳化进程中面临

¹ World Energy Scenarios 2016 report. http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Scenarios-2016_Full-Report.pdf

的艰巨挑战。交通运输燃料的多元化发展将促使能源消费需求发生颠覆性变化，有助于大幅减少能源消耗和交通工具的碳排放强度；此外，交通工具电气化也将对能源消费需求产生重大影响。重金属摇滚情景下，石油在交通运输燃料的占比将从2014年的92%降至2060年的78%；现代爵士情景下降到67%；而在无尽交响曲情景进一步下降至60%。并且随着技术进步，无论采用哪种情景模拟，第二、三代生物燃料在交通运输燃料的占比都将进一步提高，在重金属摇滚、现代爵士和无尽交响曲情景中分别提高至10%、16%和21%。

实现全球温度升高幅度限制在2摄氏度以内需要各国持续不懈地加大努力。基于上述三种情景展望，全球碳排放峰值预计在2020-2040年间到来。在无尽交响曲情景中，到2060年碳排放预计减少61%；在现代爵士乐情景中，得益于能效技术以及太阳能和风能部署，到2060年碳排放预计减少28%；而在重金属摇滚情景中，受到全球经济和政治体制的复杂影响，到2060年碳排放预计增加5%。

（郭楷模）

IEA 发布报告大幅上调可再生能源未来五年增长预测

10月25日，国际能源署（IEA）发布《可再生能源中期市场报告2016》²，详细评估了未来五年可再生能源的发展趋势，指出受到技术进步、成本快速下降和政府强有力的政策支持的推动，未来五年可再生能源仍将是全球电力增长的最大来源，到2021年预计全球新增可再生能源装机容量将大幅上涨42%，较去年预期上升13%。同时为了促进可再生能源的持续健康发展，报告还呼吁各国政府减少政策不确定性，以充分发挥可再生能源在应对气候变化和加强能源安全上的作用，并分别向OECD国家和发展中国家政策制定者提出了建议。报告要点如下：

（1）2015年可再生能源新增装机容量创纪录

2015年，得益于太阳能光伏和陆上风电分别新增49 GW和63 GW，全球可再生能源电力新增装机容量153 GW，创下历史新高，首次在全新增电力装机增量中的占比超过50%，并且可再生能源累计装机容量超过燃煤装机容量。由中国主导的新兴经济体是主要推动力量，贡献了58%的可再生能源装机增量。

（2）可再生能源装机容量预测大幅上调

未来五年（至2021年），在技术进步、成本下降和政策支持的多重利好因素作用下，可再生能源电力装机增量将达到825 GW（图1），较去年的预测数值上升13%。届时，可再生能源在全球发电量中的占比将从2015年的23%提高至2021年的28%（图1），发电量超过7600 TWh，是增长最快的电力来源，占预测期内全球新增发电量比例超过60%，与当前美国和欧盟发电量总和相当。

² Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/MTRenew2016sum.pdf>

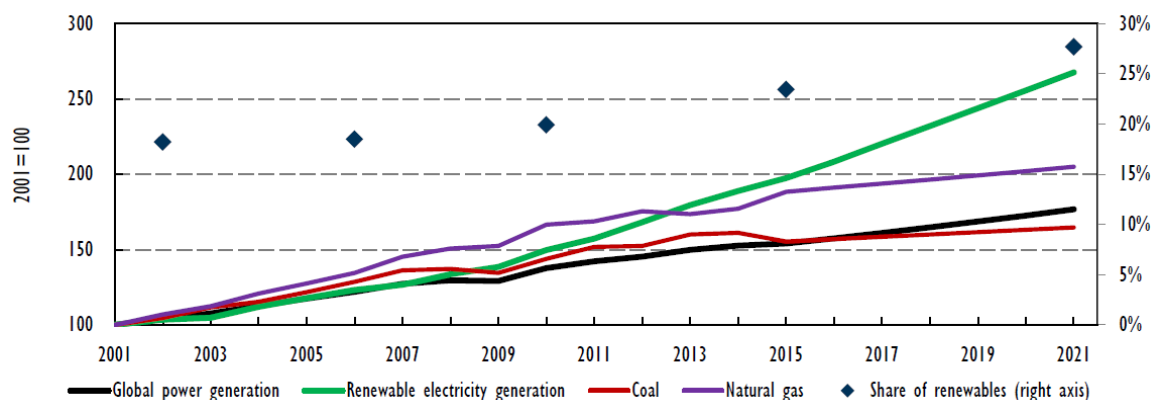


图 1 2001-2021 年不同电力来源发电量增量变化曲线

（3）亚洲引领全球可再生能源电力增长

报告指出亚洲将成为全球可再生能源增长引擎。其中，中国仍将是世界第一大可再生能源增长大国，预计到 2021 年其可再生能源装机增量将占全球增量的 37%（图 2）。到 2021 年，中国太阳能光伏和陆上风电累计装机容量将占全球的三分之一以上。其次，在政府的大力支持下，印度太阳能光伏市场也将继续快速增长，预计到 2021 年印度太阳能光伏装机容量将增至目前的 8 倍左右。此外，东南亚地区随着电力需求不断增长、化石燃料进口增加以及污染等问题将推动区域可再生能源市场的发展，以实现能源结构的多样化。就发达国家而言，美国的可再生能源增速有望超过欧盟。美国联邦税收优惠制度的持续实施以及各州政府的可再生能源扶持政策，再加之太阳能和风电成本的持续下降，到 2021 年，美国可再生能源装机容量将实现持续快速增长。从增量来看，美国有望成为仅次于中国的第二大可再生能源市场。而在欧洲地区，由于电力需求增速减缓、不少国家可再生能源政策的不确定性将导致欧盟可再生能源发展增速逐渐放缓。

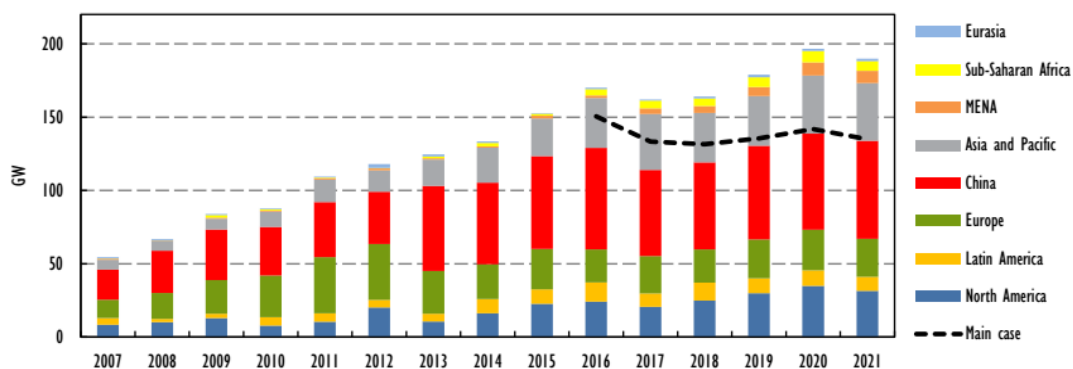


图 2 报告主要情景和加速发展情景对于不同地区可再生能源电力装机增量的预测

（4）太阳能光伏和陆上风电将合力贡献 75% 的新增可再生能源电力

在预测期内，陆上风电新增发电量最多，占到可再生能源新增发电量的三分之一。而太阳能光伏发电在装机容量上处于领先地位，占可再生能源新增装机容量的

45%。由于中国和巴西这两个水电大国的大型水电项目减少，新增水电装机增速将逐渐放缓，到 2021 年水电占可再生能源新增装机容量仅为 13%。同时，其他可再生能源（生物质能、海上风电等）的绝对数量虽然增长较为缓慢，但依然大幅扩张。

（5）可再生能源投资及其发电成本降低

到 2021 年时，可再生能源年均新增装机投资会达到 2420 亿美元，低于 2015 年的近 2880 亿美元，陆上风电和太阳能光伏占新增投资的将近三分之二。投资额降低主要是因为装机容量增长放缓，以及多数主流可再生能源技术的投资成本降低。

可再生能源发电成本会继续下降。从 2010 年到 2015 年，全球新建陆上风电厂的平均成本估计下降了 30%，而并网太阳能光伏的发电成本平均下降了三分之二。未来五年，新建陆上风电的生产成本会再下降 15%，而新建并网太阳能光伏的成本会再下降 25%。尽管太阳能光伏和陆上风电不再需要大量的政策激励，但其经济吸引力仍然主要依赖于监管框架和市场设计。与此同时，海上风电、太阳能光热发电和生物能等一些技术要求持续的政策支持，以便使它们能够在学习曲线上随时间发展不断降低成本。

（6）可再生能源在热利用和交通领域应用急需政策支持

可再生能源在供热制冷和交通领域的应用步伐虽慢于电力领域，但仍呈现增长趋势。全球可再生能源热利用（不包括传统的生物质能）在预测期内只会温和增长，从 2014 年的 7.2% 上升到 2021 年的 8.2%。可再生能源热利用扶持计划依然是重要的增长驱动因素，鼓励区域供热网络的倡议也有望帮助并入可再生能源供热。可再生能源热利用在提供工业过程热的应用市场潜力巨大。要加强可再生能源热力的总体应用，需要更具深度和广度的政策框架。即便是在油价较低的情况下，掺混要求也有望支持生物燃料用于满足交通运输能源需求。总体而言，生物燃料增长预计会稳步发展，在 2021 年占到公路运输燃料构成的 4.5%。要在更长时期实现交通运输行业特别是具有挑战性的行业（比如航空业）的能源供应多元化和低碳化，就需要大力发展先进生物燃料，但是该行业需要进一步的政策支持。

报告最后指出，加强政策和市场框架构建可实现可再生能源加速发展，加速发展情景将比上述主要情景预测高出 29%。报告专门为经合组织国家和发展中国家提出加强政策改革的建议：

- 改善现有的电力系统的基础设施和市场设计以提高可再生能源并网集成。
- 贯彻落实稳定、可持续的政策框架，提高可再生能源投资项目的长期收益确定性。
- 制定相关政策机制以降低可再生能源融资成本和电力承购风险，尤其针对发展中国家和新兴经济体。

（郭楷模）

GWEC：到 2050 年全球风电占比有望达到 40%

10 月 18 日，全球风能理事会（GWEC）发布了双年度报告《全球风能展望 2016》³，指出目前由于全球电力市场的不确定性和各国政策对可再生能源支持政策的变化，使得对风电行业前景的预测变得更加困难。但可以确定的是风电在未来能源系统中所扮演的角色将更加重要，而这一点在不同情景分析中都呈现趋同趋势，即风电在未来能源系统中将扮演举足轻重的作用，也成为塑造能源转型未来的决定力量。报告最乐观估计到 2030 年全球风电装机将达到 2110 GW，能够满足 20% 的电力需求，年均吸引投资近 2000 亿欧元、创造 240 万个新的就业机会、削减碳排放 33 亿吨；到 2050 年全球风电装机将超过 5800 GW，能够满足约 40% 的电力需求，年均吸引投资近 2750 亿欧元、创造 420 万个新的就业机会、削减碳排放 90 亿吨。报告利用四种情景（新政策情景、450 情景、稳健情景和超前情景）对 2020、2030 和 2050 年的风能发展进行了预测。

（1）装机容量

新政策情景显示全球风电年度新增装机市场在 2016 年下降至 2014 年 50 GW 的水平，并在 2020 年以后进一步降低到 2010 年的水平，到 2025 年回升至 2015 年 60 GW 的水平，到 2030 年达到 82 GW，之后趋于稳定，到 2050 年为新增 77 GW 的水平。在累计装机市场的增长方面，新政策情景假设 2016 年累计市场的增长率为 12%，到 2020 年下降至 7%，累计装机容量达 639 GW；到 2030 年累计市场增长速度维持在 6%-7%，装机容量达 1260 GW；到 2050 年，风电累计装机将达到 2870 GW。

450 情景也预测全球风电年度新增装机市场在 2016 年回到 2014 年 50 GW 的水平，到 2020 年逐渐达到 54 GW，累计市场装机容量达 658GW；之后开始显著增速，到 2030 年年新增市场达到 115 GW，累计市场容量 1454 GW，比新政策情景高 200 GW；到 2050 年增速放缓，年新增市场达到 121 GW，全球累计风电装机容量 3546 GW。

稳健情景下预测 2016 年风电市场年增长率约为 15%，到 2020 年逐渐降至 11%，年新增装机容量达 79 GW，累计装机容量达 800 GW；到 2030 年增长速度稳定在 7%，年新增装机达到 107 GW，累计装机达 1676 GW；2030 年后增速开始放缓，到 2050 年年新增装机维持在 120 GW，累计装机容量达 3984 GW。

超前发展情景显示，到 2020 年风电年新增市场将达到 100 GW，累计市场达到 879 GW；到 2030 年风电年新增市场达到 145 GW，累计市场达 2110 GW；到 2050 年年新增市场达到 208 GW，累计市场容量达 5806 GW。

（2）发电量

新政策情景显示在 2020 年全球风电提供 1569 TWh 电力，是 2015 年风力发电

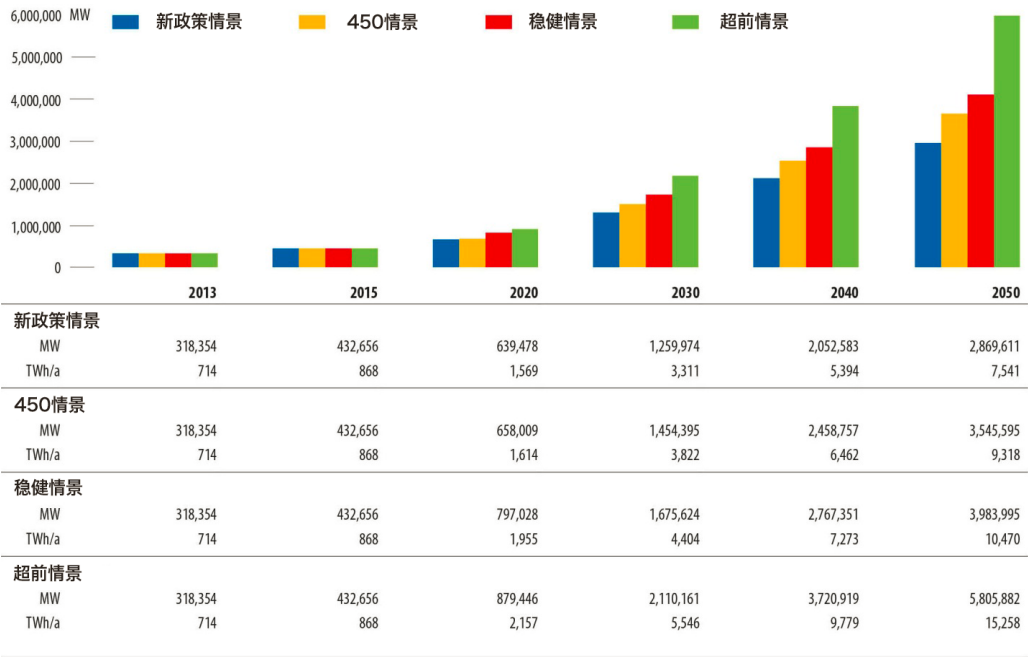
³ Global Wind Energy Outlook 2016. <http://files.gwec.net/files/GlobalWindEnergyOutlook2016>

量（868 TWh）的近两倍。根据两种不同的电力供应需求情景，能够满足全球电力需求的 7%；到 2030 年风电量翻倍达 3311 TWh，满足全球电力需求量的 11%-12%；到 2050 年全球风力发电量达到 7541 TWh，占全球电力需求的 18%-20%。

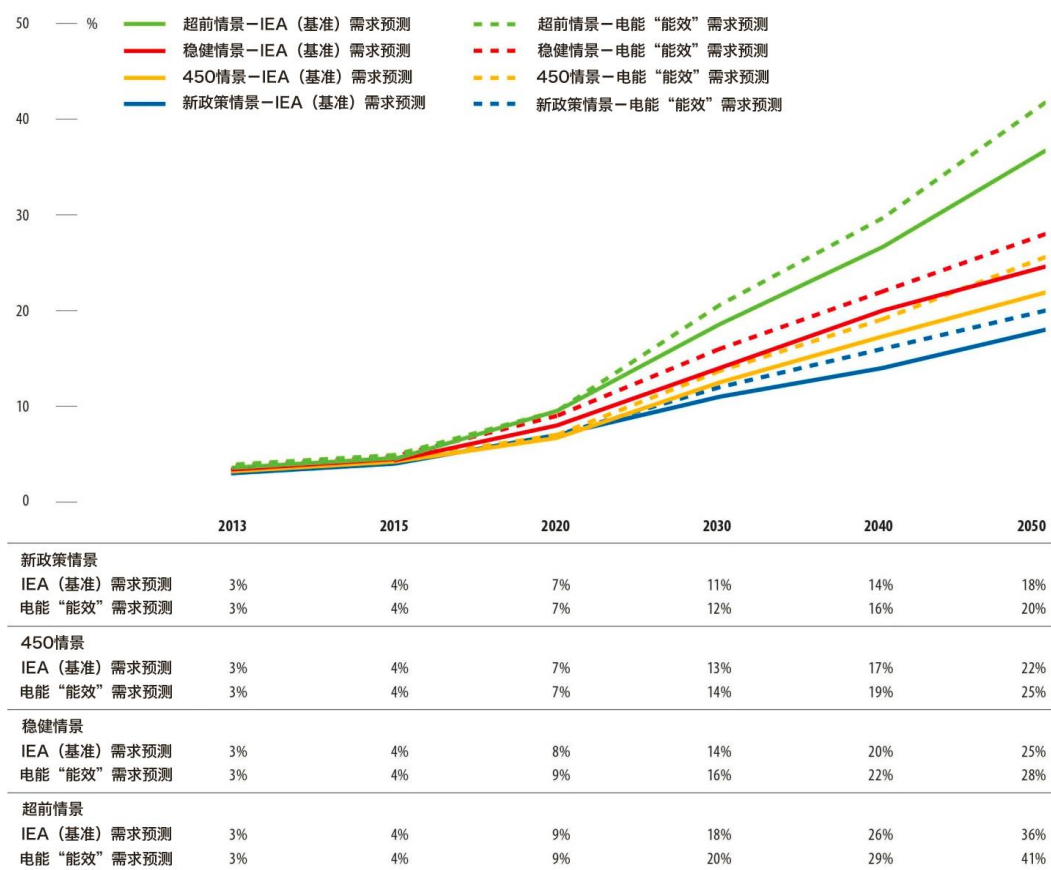
450 情景显示 2020 年全球风力发电量达到 1614 TWh，占全球电力需求的 7%；到 2030 年风电量达到 3822 TWh，占全球电力需求量的 13%-14%；到 2050 年风力发电量达到 9318 TWh，占全球发电量的 22%-25%。

稳健情景设想风电发挥更大的作用，到 2020 年风力发电量超过 1955 TWh，占全球电力需求的 8%-9%；到 2030 年达到 4400 TWh，占 14%-16%；到 2050 年风力发电量达到 10470 TWh，占全球电力需求的 25%-28%。

超前情景显示到 2020 年风力发电量超过 2157 TWh，占全球电力需求的 9%。在随后的十年中上述数字还将直线上升，到 2030 年风电量达到 5546 TWh，占全球电力需求的 18%-20%；到 2050 年将进一步提高到 15258 TWh，占全球电力需求的 36%-41%。



a-全球累计风电装机容量变化趋势



b-风电占比变化趋势

图 1 报告四种情景预测到 2050 年全球风电市场变化趋势

报告还对风电成本、吸引投资、创造就业机会、减排效益的发展趋势等进行了情景预测。

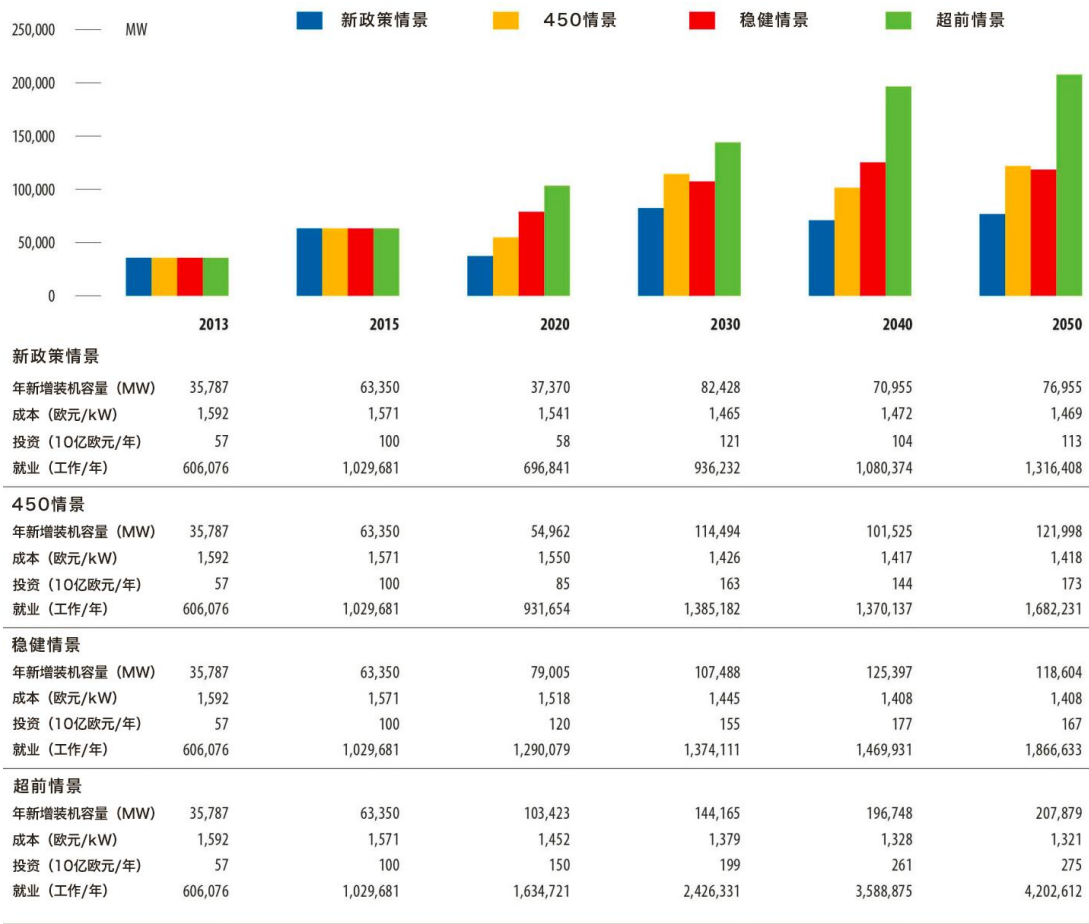
2015 年，风电设备成本约为 1571 欧元/千瓦。在新政策情景下，风电设备成本直到 2020 年都没有显著下降，到 2030 年设备成本下降至 1465 欧元/千瓦。在 450 情景中，设备成本也没有显著下降，2020 年降至 1550 欧元/千瓦，2030 年降至 1426 欧元/千瓦。在稳健情景中，到 2020 年风电设备成本降至 1518 欧元/千瓦，到 2030 年降至 1445 欧元/千瓦。超前情景中，风电设备价格降幅更快，到 2020 年就达到 1452 欧元/千瓦，到 2030 年甚至达到 1379 欧元/千瓦。

在风电投资方面，新政策情景中 2020 年风电投资达到 576 亿欧元，到 2030 年升至 1210 亿欧元。在 450 情景中，2020 年投资额将达到 850 亿欧元，到 2030 年达到 1630 亿欧元。在稳健情景中，2020 年的投资额将达到 1200 亿欧元，到 2030 年达到 1550 亿欧元。而超前情景将超过所有的预期，投资额在 2020 年达到 1500 亿欧元，2030 年达到 1990 亿欧元。

在创造就业机会方面，截至 2015 年底，全球风电产业从业人员约有 110 万人。在新政策情景下，到 2020 年风电产业就业会因为装机容量的波动出现下降，到 2030 年达到 93 万人；在 450 情景下，风电产业就业保持强劲势头，到 2030 年达到 139

万人。在稳健情景下，2020 年和 2030 年的全球风电产业就业分别在 129 万人和 140 万人；在超前情景中，2020 年和 2030 年风电产业就业人数分别在 160 万和 240 万人。

在减排效益方面，2015 年全球风电减排 5.21 亿吨二氧化碳。在新政策情景中，这一数据到 2020 年将达到 9.41 亿吨，累计减排效益达 73 亿吨；到 2030 年年均新增减排 19.87 亿吨，累计减排效益 210 亿吨；在 450 情景中，2020 年年均新增减排 9.68 亿吨，累计减排效益达 73 亿吨，到 2030 年年均新增减排达 22.93 亿吨，累计减排 230 亿吨；在稳健情景中，到 2020 年年均新增减排将达到 11.7 亿吨，累计减排效益达 79 亿吨；到 2030 年达到年新增减排 26 亿吨，累计减排效益 264 亿吨；在超前情景中，到 2020 年年均新增减排 12.94 亿吨，累计减排效益达 82 亿吨，到 2030 年年均新增减排达 33.27 亿吨，累计减排 307 亿吨。



a-全球风电成本、投资和就业变化趋势

	2013	2015	2020	2030	2040	2050
新政策情景						
年CO ₂ 减排量	428	521	941	1,987	3,237	4,525
累计CO ₂ 减排量	2,112	3,105	7,247	21,223	48,137	87,610
450情景						
年CO ₂ 减排量	428	521	968	2,293	3,877	5,591
累计CO ₂ 减排量	2,112	3,105	7,279	22,730	54,687	102,639
稳健情景						
年CO ₂ 减排量	428	521	1,173	2,642	4,364	6,282
累计CO ₂ 减排量	2,112	3,105	7,850	26,393	61,770	116,043
超前情景						
年CO ₂ 减排量	428	521	1,294	3,327	5,867	9,155
累计CO ₂ 减排量	2,112	3,105	8,153	30,702	76,953	153,634

b-风电发展年度和累计减排量变化趋势（单位：百万吨）

图 2 报告四种情景预测到 2050 年全球风电市场变化趋势

（陈伟）

IEA 四大建议敦促日本能源供应去碳化

国际能源署（IEA）9 月底发布了《日本能源政策评估》报告⁴，对日本能源政策的现状和未来发展态势做了详细评述，肯定了日本长期以来注重能效的传统，同时指出日本应该综合可再生能源、核能以及高效火电等方式，平衡且多元化其能源结构，推动建立一个更为安全、经济且低碳化的能源体系，从而更好地履行碳减排承诺，推动全球发展向绿色低碳转型。

报告指出日本是全球最大的能源消费国和进口国之一，同时其在能源技术开发方面也是全球公认的领导者。对于日本来说，能源供应的安全性历来都是至关重要的，因为它的能源供给几乎完全依赖于进口化石燃料。2011 年福岛核电站事故后，日本被迫关停了大批核电站，直接导致了出现 30%左右的电力供应缺口，使得日本化石能源用量不断攀升，能源进口量和二氧化碳排放也随之增加，同时电力价格也居高不下，长期而言这是不可持续的。为了促进能源系统低碳化，近年来日本政府从根本上重新思考其能源政策，并采取了一系列措施：

制定 2030 年及之后的能源新战略。2015 年，日本在巴黎气候大会上宣布了国家自主贡献目标，即到 2030 年较 2013 年温室气体减排 26%。2016 年 5 月，日本通过了全球变暖对策计划。该计划是在与经济增长相适应的条件下，基于国家自主贡献目标和承诺到 2050 年排放量削减 80%两个目标而制定的。为了支持这些承诺，日本政府制定了面向 2030 年产业变革的《能源革新战略》和面向 2050 年技术前沿的《能源环境技术创新战略》，努力与产业界和学术界密切合作推动能源技术创新，以实现能源供应低碳化。

改革电力和天然气市场。2011 年东日本大地震和福岛核电站事故促使日本政府

⁴ Energy Policies of IEA Countries: Japan 2016 Review.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesJapan2016.pdf>

开始改革电力市场，分三个阶段实施：首先，在 2015 年 4 月建立跨区域电力传输运营商协调组织（OCCTO），任务是评估发电充足率和确保有足够的传输电量，也有权力确定新的输电线路建设；其次，2016 年 4 月全面放开电力零售市场，所有的消费者可以自主选择电力供应商；最后，到 2020 年 4 月电力公司的输配电环节将从发电和零售环节中合法分拆。在电力市场改革之后，日本政府也开始了天然气市场改革，确保供应、尽可能降低价格、扩大消费者的选择和交易机会。天然气市场改革包括在 2017 年引入完善的市场竞争机制、改善管道设施和第三方准入条件以及与液化天然气接收站相关的税费等。

保障石油供应安全。石油在日本一次能源供应总量（TPES）中的占比超过 2/5，因此确保石油供应安全历来是日本政府能源政策的关键部分，具体体现在政府支持的资源外交和日本企业海外石油上游投资。在东日本大地震后，日本修正了石油储备政策，即当自然灾害引起供应短缺时，允许使用储备石油。日本还整合了石油炼化行业，以提高行业的竞争力。

促进可再生能源发展。要实现日本 2030 年的减排目标需要大幅增加能源系统中可再生能源的份额。日本着力建立一个平衡的多元化可再生能源组合供应系统，以增加日本的能源安全。并部署更多的分布式发电资源，有助于增强电力系统抵御自然灾害的能力。为扩大可再生能源份额并使其朝着更加平衡的组合发展，日本正推动可再生能源供热和分布式发电更贴近电力需求中心，并解决一些非经济壁垒，如通过更好的协调和简化手续来开展环境影响评估等。

报告最后强调，日本拥有强大的科技基础，但其能否顺利实现碳减排承诺很大程度上有赖于技术创新和政策措施，为此，报告给日本政府提出了四方面的战略建议：

- （1）努力构建均衡和多样化的能源系统，包括融合更多的可再生能源、核能、高效火电等，实现能源安全、经济效益和环境保护的协同发展。
- （2）采取一切必要措施，以确保 2030、2050 年碳减排目标的实现，包括：
 - 提高低碳能源在一次能源消费和电力来源中的比重，同时解决能源安全、成本和公众接纳问题；
 - 针对能效，继续逐步引入财政激励和严格指标；
 - 发挥日本在关键低碳技术创新领域的巨大潜力。
- （3）完成电力和天然气市场改革的实施计划，确保监管机构有足够资源专门为电力系统建立一个完备的国家电网和市场设计。
- （4）持续支持和推进可再生能源部署，包括：
 - 针对可再生能源部署给予一定的政策补贴，同时调整可再生能源相关标准以与国际标准接轨，避免给消费者带来额外的成本负担；

- 定期检查可再生能源支持力度效用，以反映其对可再生能源技术进步的助力作用；
- 促进可再生能源组合在技术和地理上的协调部署；
- 引入中性制度（即对传统能源、新能源并网无倾向）加快可再生能源的并网集成。

（郭楷模）

项目计划

DOE 资助 8000 万美元建设超临界 CO₂ 动力循环中试设施

10 月 17 日，美国能源部宣布资助 8000 万美元，在德克萨斯州圣安东尼奥设计、建设和运营一个 10 MWe 超临界 CO₂ 动力循环中试设施⁵。项目为期六年，由燃气技术研究所（GTI）、西南研究院（SwRI®）和通用电气全球研究中心领导的团队负责。

目前，全球尚没有商业可行的用于高温高效系统测试的超临界 CO₂ 动力循环中试设施。尽管该技术已经在实验室装置上得到验证，但中试项目将提供重要的数据用于解决在更大规模上运营时可能遇到的挑战，并在完整条件下测试系统组件的性能。新设施将通过工业界和政府合作，测试和示范超临界 CO₂ 布雷顿循环技术的潜在能效和成本收益，以支持新型能源转化系统未来商业化部署。目前美国蒸汽兰金循环电厂的平均效率低于 30%，而新设施循环效率有望超过 50%。如果成功开发，超临界 CO₂ 动力循环应用于地热、煤炭、核能和太阳能热发电将显著提高能量转化效率。

超临界 CO₂ 是指 CO₂ 存在于超出其临界温度和压力的环境，以流体形式存在，与现在常用的传统蒸汽-水（兰金循环）系统相比，能够降低碳排放和电厂运营成本。此外，由于超临界 CO₂ 相比蒸汽有更高的流体密度，电厂能采用紧凑的涡轮机械，有助于降低资本成本。

（张凡）

DOE 资助 3000 万美元推进氢能和燃料电池技术研发

10 月 5 日，美国能源部（DOE）宣布拨款 3000 万美元资助氢能和燃料电池技术研发项目⁶，旨在充分发挥 DOE 主导成立的能源材料研发联盟网络⁷中的各国家实

5 DOE Announces \$80 Million Investment to Build Supercritical Carbon Dioxide Pilot Plant Test Facility. <http://www.energy.gov/under-secretary-science-and-energy/articles/doe-announces-80-million-investment-build-supercritical>

6 DOE Announces \$30 Million Investment in Hydrogen and Fuel Cells as Industry Continues Unprecedented Growth Rates. <http://energy.gov/eere/articles/doe-announces-30-million-investment-hydrogen-and-fuel-cells-industry->

实验室协同创新能力，加快开发先进的氢能和燃料电池技术，减少贵金属铂催化剂的用量，提高电池寿命，降低燃料电池成本，加速燃料电池技术的市场开拓。此次项目招标将遴选四大技术主题，包括：（1）非铂燃料电池催化剂研发；（2）先进水分解材料；（3）车载储氢材料；（4）低成本高强度碳纤维材料。具体内容参见表 1。

表 1 氢能和燃料电池四大技术主题研发项目

技术主题	研发内容
非铂燃料电池催化剂 (1000 万美元)	研发全新高效、耐用的非铂催化剂应用于质子交换膜燃料电池（PEMFCs），将现有 PEMFCs 的性能提升 80%，达到与铂催化剂电池性能相当的水平，即到 2020 年实现工作电压达到 0.9V，电流密度达到 0.044 A cm ⁻² 的性能，以加速 PEMFCs 技术在交通领域的部署应用
先进水分解材料 (1000 万美元)	开发先进低成本、高效耐用的电解水、光电化学（PEC）分解水和太阳能热解（STCH）水制氢材料，提高水解产氢效率（到 2020 年，电解水制氢效率达到 75%，PEC 转换效率达到 25%，STCH 转换效率达到 26%），降低制氢成本 此外，为电解水、光电化学（PEC）分解水和太阳能热解（STCH）水制氢系统开发一套统一的水分解系统性能和材料测试标准，包括产氢效率、成本等指标，以便于进行性能对比，来确定水分解材料性能优劣，为后续研发提供参考
车载储氢材料 (900 万美元)	开发全新可逆、高效（氢气充放快速）、安全、高容量、低成本的车载储氢材料，以满足车载储氢在特定条件下的应用需求（温和温度条件下获取高储氢密度），使得氢燃料电池汽车具备与传统燃油汽车相当的续航里程，促进氢燃料电池汽车的规模化商业应用
低成本高强度碳纤维 (400 万美元)	开发新型高强度碳纤维材料用于包裹高压储氢容器，用以提高容器致密性，减少氢气外逸，防止压力损失；研发新型碳纤维前驱材料，以大幅降低前驱材料和制造成本，同时要保证新型碳纤维性能能够与现有商用东丽 T-700S 系列的碳纤维相当

（郭楷模）

前沿与装备

新型血红素催化剂改善锂空气电池性能

传统锂空气电池催化剂无法将放电产物过氧化锂（Li₂O₂）有效分解，导致其沉淀覆盖在正极表面，引起过电位增大降低锂空气电池性能，循环稳定性变差，因此限制了大规模应用。耶鲁大学 Andre D. Taylor 教授课题组将生物血红素（Heme）分子溶解到电解液（LiClO₄+TEGDME）中作为催化剂引入到锂空气电池

continues
⁷ 参见本刊 2016 年第 5 期报道。

中，与锂金属负极、多壁碳纳米管正极组装成完整的锂空气电池。Heme 具备输送氧分子功能，研究人员希望通过 Heme 的引入提高电池析氧反应效率，有效分解放电产物，提高电池稳定性。为了对比，研究人员还组装了一个结构完全一致但不含有 Heme 分子催化剂的锂空气电池。通过循环伏安测试显示，以 100 mA g^{-1} 的电流在 2.35-4.15V 电压区间进行循环，首次循环后，含有 Heme 和不含 Heme 的两种电池放电比容量相近（前者 $2830 \text{ mA g}^{-1}_{\text{carbon}}$ ，后者为 $2871 \text{ mA g}^{-1}_{\text{carbon}}$ ）；但经过相同次数的循环后，含有 Heme 电池的放电比容量仍有 $2665 \text{ mA g}^{-1}_{\text{carbon}}$ ，库伦效率达 93%，而无 Heme 电池比容量下降到了 $2390 \text{ mA g}^{-1}_{\text{carbon}}$ ，库伦效率仅为 84%；进一步的恒电流间歇滴定测试显示，含有 Heme 电池充电过电位仅为 3.5V 左右，低于无 Heme 电池的 4V。研究人员指出，之所以出现上述改善结果主要是由于 Heme 分子一方面能起到输送氧分子的作用，可以促进过氧化锂放电产物有效分解，克服其堵塞电极孔洞，提高电池循环稳定性；同时 Heme 分子又能高效地传递电子，加速电子在放电产物和电极之间的转移，降低了过电位。该项研究创新性地将血红素开发为高效的催化剂，应用于锂空气电池，改善其稳定性，为制备高性能的锂空气电池催化剂提供了新的方向。相关研究工作发表在《*Nature Communications*》⁸。（郭楷模）

二维二硒化锡/还原石墨烯复合负极用于钠离子电池

钠离子电池负极材料存在如低钠离子存储能力、较低的循环稳定性等诸多缺陷，限制了其大规模应用。阿卜杜拉国王科技大学 Husam N. Alshareef 教授研究团队通过水热法合成制备了二维二硒化锡（ SnSe_2 ）以及 SnSe_2 /还原石墨烯（RGO）复合材料，并将其作为电极应用到钠离子电池当中进行对比研究。扫描电子显微镜（SEM）表征显示， SnSe_2 呈现出尺寸均一的六边形纳米片形貌，其边长在 80~120nm 之间，厚度在 10~20nm 之间，且在 SnSe_2 /RGO 复合材料中观察到 SnSe_2 纳米片均匀负载在 RGO 薄膜上。氮气脱吸附等温线表征结果显示， SnSe_2 /RGO 复合材料的比表面积达到了 $87 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，四探针测试显示其室温导电率为 $2.1 \times 10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ ，全面优于单独的 SnSe_2 纳米片（比表面积达到 $28.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，导电率为 $3.24 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$ ）。通过循环伏安测试，发现在 0.005-2.5V 电压扫描区间，扫描速率 2 mV s^{-1} 、放电电流 0.1 A g^{-1} 情况下， SnSe_2 /RGO 复合电极电池的初始放电比容量为 798 mAh g^{-1} ，经过 100 次循环后，放电比容量稳定在 515 mAh g^{-1} ，库伦效率近 100%；而同样条件下， SnSe_2 电极电池的初始放电比容量仅为 621 mAh g^{-1} ，经过 100 次循环后，放电比容量仅剩下 152 mAh g^{-1} 。与此同时， SnSe_2 /RGO 复合电极还表现出优异的高倍率性能，当放电电流提高到 2 A g^{-1} ，其放电比容量仍可维持在较高数值为 365 mAh g^{-1} ，且当放电电流调回 0.1 A g^{-1} 时，其放电比容量又可以回到 520 mAh g^{-1} ；相反， SnSe_2 电

8 Won-Hee Ryu, Forrest S Gittleson, Julianne M Thomson, et al. Heme biomolecule as redox mediator and oxygen shuttle for efficient charging of lithium-oxygen batteries, *Nature Communications*, 2016, DOI: 10.1038/ncomms12925.

极在 2 A g^{-1} 的放电电流下,放电比容量仅为 82 mAh g^{-1} ,而当放电电流调回 0.1 A g^{-1} 时,其放电比容量回到了 172 mAh g^{-1} 。研究人员指出 SnSe_2/RGO 复合电极性能增强的主要原因是 RGO 的引入可以提高钠离子存储容量,同时增强整个电极的导电性。该项研究精心设计了全新的 SnSe_2/RGO 复合电极,提高了钠离子存储容量,改善了导电性,增强了电池的倍率性能、循环稳定性和能量密度,有望推动钠离子电池技术发展。相关研究工作发表在《*Advanced Energy Materials*》⁹。(郭楷模)

新型氧化锌/碳纤维复合纳米刷限硫载体提高锂硫电池寿命

锂硫电池充放电过程中会形成易溶性中间产物多硫化锂,导致活性材料流失使电池性能衰退,这一缺陷制约了锂硫电池的发展。由剑桥大学 R. Vasant Kumar 教授课题组牵头的联合研究团队利用化学沉积法制备了一种独特的纳米网络结构,由氧化锌/碳纤维 (ZnO/C) 复合纳米刷单元构成,将其作为中间夹层充当限硫载体,应用于锂硫电池当中。 SEM 表征显示, ZnO 纳米线均匀负载在碳纳米纤维上呈现独有的毛刷形态,前者平均直径为 50nm ,后者则为 200nm 。热重分析 (TGA) 分析结果显示, ZnO 纳米线的负载量为 0.7 mg cm^{-2} ,而氮气脱吸附测试结果显示该 ZnO/C 复合纳米刷网络拥有较高的比表面积,在 $192\text{-}600 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 之间。由于 ZnO 能够通过化学键吸附多硫聚物,因此 ZnO/C 复合纳米刷网络可以作为限硫载体,有效抑制多硫化锂的溶解穿梭,改善锂硫电池的循环性能。此外,半导体性质的 ZnO 和导电碳纤维的引入保证了 ZnO/C 复合纳米刷网络的高导电性,有利于电子高速传输。由于上述优点,研究人员将其与硫/多壁碳纳米管 (S/MWCNT) 组成复合正极,与电解质和锂负极构成了完整的锂硫电池。循环伏安测试结果显示,该含有 ZnO/C 复合纳米刷网络的 S/MWCNT 正极在 0.2C 倍率下,初始放电比容量为 $1084.7 \text{ mAh g}^{-1}$,经过 50 次循环后,容量维持在 $1030.7 \text{ mAh g}^{-1}$,容量保持率为 95%;在 1C 倍率下,初始放电比容量为 867.6 mAh g^{-1} ,经过 50 次循环后,容量维持在 787.6 mAh g^{-1} ,容量保持率为 90.7%,而经过 200 次循环后,仍可维持 776 mAh g^{-1} 容量,平均每次循环容量衰减率仅为 0.05%,表现出了优异的高倍率循环稳定性。该项研究精心设计了氧化锌/碳纤维网络结构作为限硫载体,在提高硫电极导电性的同时抑制了充放电过程中多硫化锂的溶出,提高了电池的倍率性能和循环稳定性,为制备高性能的锂硫电池开拓了新思路。相关研究发表在《*Advanced Functional Materials*》¹⁰。

(郭楷模)

⁹ Fan Zhang, Chuan Xia, Jiajie Zhu, et al. SnSe_2D Anodes for Advanced Sodium Ion Batteries. *Advanced Energy Materials*, 2016, DOI: 10.1002/aenm.201601188.

¹⁰ Teng Zhao, Yusheng Ye, Xiaoyu Peng, et al. Advanced Lithium-Sulfur Batteries Enabled by a Bio-Inspired Polysulfide Adsorptive Brush. *Advanced Functional Materials*, 2016; DOI: 10.1002/adfm.201604069

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》、《先进能源科技动态监测快报》（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

电话：（027）87199180

电子邮件：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

