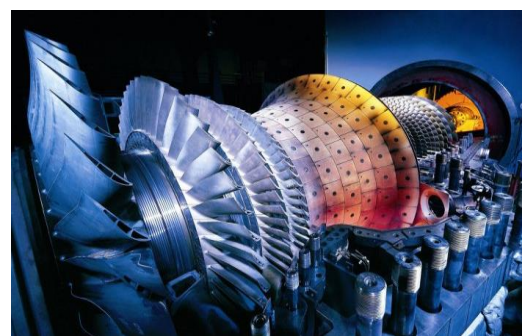


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：建筑制冷用电成为全球电力需求增长的关键驱动力
- GWEC：到2022年全球风电累计装机预计达840 GW
- DOE 资助2300万美元推进海洋能源开发利用技术研发
- DOE 资助3450万美元推进建筑节能技术研发
- 新型可充电的水基锰氢电池实现超万次充放电循环

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

IEA: 建筑制冷用电成为全球电力需求增长的关键驱动力2
GWEC: 到2022年全球风电累计装机预计达840 GW4

项目计划

DOE 资助2300万美元推进海洋能源开发利用技术研发7
DOE 资助3450万美元推进建筑节能技术研发8
DOE 资助1900万支持先进电池和快充技术研发9

前沿与装备

新型可充电的水基锰氢电池实现超万次充放电循环10
无空穴碳电极全无机钙钛矿太阳电池实现低成本高效运行11
多孔石墨烯/镍钼合金催化剂实现高效稳定析氢12
超高浓度盐水电解质显著提高锂-空气电池循环寿命13

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《制冷行业的未来》报告，系统地分析了全球建筑制冷用电需求发展现状和未来发展态势：当前，建筑制冷用电（如空调、风扇）已占全球建筑物用电总量的近 20%，占当前全球总用电量的 10%。全球对建筑制冷的需求及其能源消耗将在未来几十年继续增长。在基准情景中，到 2050 年全球建筑制冷用电需求将增长两倍，相当于美国、欧盟和日本三国当前的装机量之和，成为继工业部门之后全球第二大电力需求增长来源。而提高空调效率则是快速抑制能源消耗增长的有效途径。在高能效制冷情景中，到 2050 年全球范围内用于建筑制冷的用电量减少至 3400 TWh，比基准情景低 45%，节约的电量相当于欧盟 2016 年的用电总量；同时，与制冷相关的二氧化碳排放量也将下降至 1.5 亿吨，仅为 2016 年排放量的 13%，主要空气污染物的排放量也将下降 85%。因此，迫切需要各国政府采取严格的措施来遏制建筑制冷用电需求的快速增长，以实现节能减排，为此报告提出了多项的战略性建议。详见正文。

全球风能理事会 (GWEC) 发布《全球风电年度市场动态 2017》报告显示：2017 年全球风电新增装机 52.5 GW，使得累计装机装达 539 GW。截至 2017 年底，有 30 个国家风电累计装机超过 1 GW，9 个国家风电累计装机容量超过 10 GW。2017 年，全球风电呈现全面增长态势，其中亚洲地区风电新增装机容量 24.4 GW，占同期全球新增装机容量的近一半，领跑全球新增装机排行榜。欧洲风电以创纪录的 16.8 GW 新增装机排名第二。紧随其后的是北美、拉美、非洲和中东地区的风电市场，分别新增 7.8 GW、2.6 GW 和 0.6 GW。海上风电方面，2017 年较 2016 年同期飙涨了 95%，获得 4.3 GW 的创纪录装机增长。未来五年（2018-2022 年），全球风电装机容量预计将增长 56%，届时全球风电累计装机容量将达到 840 GW。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 2300 万美元支持“海洋能源开发利用技术”研发项目，涵盖三大技术主题，包括：（1）新型海洋能机械能量转换系统原型；（2）新型动力输出装置和控制系统的设计和测试；（3）海洋环境保护和监管；旨在开发经济、高效、环保的海洋能源开发利用技术，并评估和减轻海洋能源开发的环境影响，降低海洋能源开发成本，加速海洋能源技术的商业化，维持美国在海洋能源领域的全球领先地位。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 3450 万美元用于支持新型高效建筑节能技术研发，涵盖两大技术主题，包括：（1）先进的建筑节能技术；（2）高效的固态照明技术；旨在提升建筑的能效水平，减少建筑能耗及其相关的碳排放。详见正文。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 1900 万美元用于支持“电池快充技术”和“电动汽车快充系统”两大主题研究项目：其中“电池快充技术”研究项目旨在 2028 年之前将车用动力电池组成本降到 100 美元/千瓦时以下，续航里程增加至超过 300 英里以上；“电动汽车快充系统”研究项目专注于开发可在高功率水平下快速充电的电动汽车充电系统。

IEA：建筑制冷用电成为全球电力需求增长的关键驱动力

5月15日，国际能源署（IEA）发布《制冷行业的未来》报告指出¹，建筑制冷用电（如空调、风扇）已占全球建筑物用电总量的近20%，占当前全球总用电量的10%。随着经济增长和生活水平的提高，全球的建筑制冷用电需求将大幅增长（尤其是位于较热地区的新兴经济体），到2050年全球建筑制冷用电需求将增长两倍，相当于美国、欧盟和日本三国当前的装机量之和，成为继工业部门之后全球第二大电力需求增长来源。因此，建筑制冷用电将成为未来三十年全球电力需求的主要驱动力之一，迫切需要采取政策行动来改善制冷效率。如不制定更加严格的制冷能效指标，将难以满足未来面临的用电增长缺口。报告系统分析了全球建筑制冷用电需求发展现状和未来发展态势，主要内容如下：

（1）建筑制冷能耗需求增速比建筑物其他领域的能耗增速都要快

制冷的能源使用量在1990年到2016年间增长了两倍多，对全球能源需求增长的推动作用越来越显著。空调的全球销售量一直在稳步增长，自1990年以来，空调的年销售额增长了两倍多达到1.35亿台。现在全球大约有16亿台空调，其中中国和美国占了一半以上。建筑制冷需求不断增长已经给许多国家的电力系统带来了巨大的压力，同时也增加了排放。增加的交流负载不仅提高了整体的电力消耗，而且还需要在高峰时期提高发电和配电能力，给电力系统带来了很大的压力。在中东和美国的部分地区，由于天气极其炎热，空间制冷可以占到住宅用电需求的70%以上。2016年，建筑制冷用电占到全球用电峰值需求的14%左右。

（2）如不采取积极政策行动，制冷用电需求将会大幅飙升

全球对空间制冷的需求及其能源消耗将在未来几十年继续增长。世界上最热的地区有28亿人，而只有8%的人拥有空调，但在美国和日本，这一比例为90%。降低与制冷相关的能源消耗增长速度，关键在于政府的政策行动，但现行或计划实施的政策在减缓增长方面只会产生非常有限的效果。在基准情景中，考虑到当前政策和目标可能产生的影响，到2050年空间制冷的能源消耗将增加两倍。飙升的空调拥有量将使电力总用量达到前所未有的水平。2050年全球用于空间制冷的用电量将达到6200 TWh，其中近70%来自住宅领域，很大一部分发生在少数新兴经济体。在建筑物的总用电量中，空间制冷的比例将上升到30%。制冷成为建筑电力消耗增长的最强劲动力，占总增量的40%。

满足峰值电力需求成为一个主要挑战。在许多国家的高峰电力负荷中，空间制

¹Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth.
<http://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>

冷的比例预计将大幅上升，其中最大的增幅发生在印度等炎热国家。在这些国家，到 2050 年这一比例将从目前的 10% 上升到 45%。增加可再生能源电力供应对于满足这一需求至关重要，因为基准情景显示仅太阳能电力就可以提供制冷用电需求增长的三分之一。

(3) 提高空调效率的政策是快速抑制能源消耗增长的有效途径

通过提高空调效率的政策，能够迅速影响制冷相关能源消耗的增长。报告提出了一种有效的冷却方案以限制空间制冷的能源消耗，以限制空间制冷的能源消耗，并与 2015 年巴黎协定中达成的限制气候变化的宏伟目标相一致。通过更严格的最低能效标准（MEPS）和其他措施，到 2050 年全球空调的平均能源效率可能会提高一倍以上。在高能效制冷情景中，到 2050 年全球范围内用于空间制冷的用电量将达到 3400 TWh，比基准情景低 45%，节约的电量相当于欧盟 2016 年的用电总量。

高能效制冷情景大大减少了扩建电力产能以满足高峰需求的需要，到 2050 年能够在全球范围内节约 1300 GW 的额外电力产能，相当于目前中国和印度的燃煤发电装机容量之和。对电力产能需求的减少也会转化为更低的投资、燃料和运营成本。与基准情景相比，在全球范围内，高效制冷情景在 2017-2050 年期间累计可节省 2.9 万亿美元，人均供电成本比基准情景低约 45%。到 2050 年，在高能效制冷情景中，与制冷相关的二氧化碳排放量将下降至 1.5 亿吨，仅为基准情景的 7.5% 和 2016 年排放量的 13%；同时，主要空气污染物的排放量也将下降 85%。

(4) 改善建筑物能效的政策将带来额外的长期节能效应

提高建筑围护结构能效的措施将有助于在更长时期内实现更大的节能效果。建筑物的设计和建造方式（包括建筑物中使用的材料选择）可能会对空调需求和提供制冷服务所需的后续能源产生巨大影响。更高效的空调政策和建筑政策，可以使能源需求保持平稳，同时满足更多的全球人口制冷需求。这将需要制定更严格的建筑能效法规，与可再生能源政策相协调，并得到正确执行。

(5) 迫切需要采取协调一致的政策来控制制冷能源消耗

迫切需要各国政府采取严格的措施来遏制空调需求的快速增长，以实现高效制冷情景。为了实现持续降低制冷能源消耗，政府需要启动和鼓励投资，并在必要时授权对空调和建筑物进行必要的改进。多年来，许多国家已经实施了空调和建筑能效标准法规，并且实现了显著的能源节约效果。

必须优先考虑实施空调强制性能效标准，在未来几十年内有可能大幅快速降低不断上升的制冷需求。强有力的政策应对措施可以确保越来越多地使用空间制冷系统而不会造成潜在的巨大经济、社会和环境成本。各国政府可以借鉴许多经验和知识，以确保为地球带来可持续的降温效果。

报告最后提出了几项建议，希望以公平、低成本和可持续的方式，解决制冷能

源需求的增长问题，包括：制定并实施全面的国家降温政策；制定和加强监管措施；提高信息的可用性、可获得性、信息质量及其对专业决策者和消费者的影响；加强激励措施、提高能源效率以及加强制冷相关研究的国际合作。

（吴勘 郭楷模）

GWEC：到 2022 年全球风电累计装机预计达 840 GW

4 月 25 日，全球风能理事会（GWEC）发布《全球风电年度市场动态 2017》报告指出²，2017 年全球风电新增装机 52.5 GW，较 2016 年同期（54.6 GW）下滑 3.8%（图 1）。截至 2017 年底，全球风电累计装机达 539 GW（图 1），分布于 90 多个国家，其中 9 个国家累计装机容量超过 10 GW，30 个国家超过 1 GW。未来五年（2018-2022 年），随着全球越来越多的国家开拓风电事业以及风电成本持续下滑，全球风能产业将保持快速发展态势，预计到 2022 年全球风电装机容量再增长 56%，届时全球风电累计装机容量将达到 840 GW（图 2）。

截至 2017 年底，有 30 个国家风电累计装机超过 1 GW。其中，18 个在欧洲地区，5 个在亚太地区（中国、印度、日本、韩国、澳大利亚），3 个在北美地区（加拿大、墨西哥、美国），3 个在拉丁美洲区域（巴西、智利、乌拉圭），1 个在非洲（南非）。有 9 个国家风电累计装机容量超过 10 GW，分别为中国、美国、德国、印度、西班牙、英国、法国、巴西和加拿大。

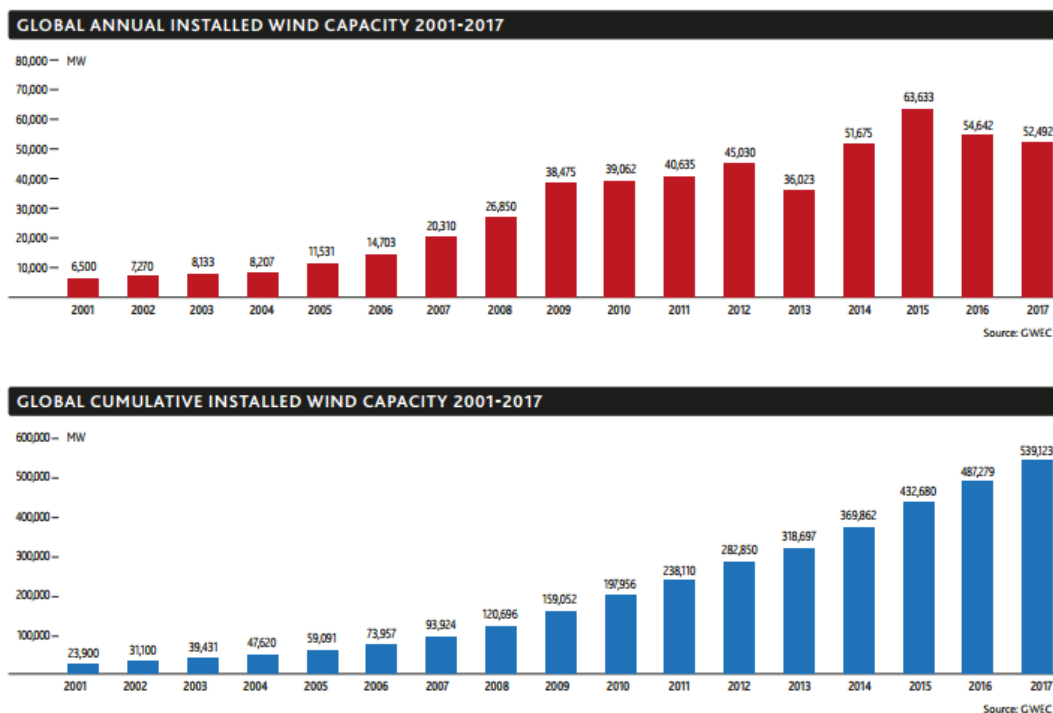


图 1 2001-2017 年全球风电装机发展态势（上图为年度新增装机量，下图为累计装机量，单位：

² GLOBAL STATUS OF WIND POWER IN 2017.
<http://www.gwec.net/strong-outlook-for-wind-power/#>

MW)

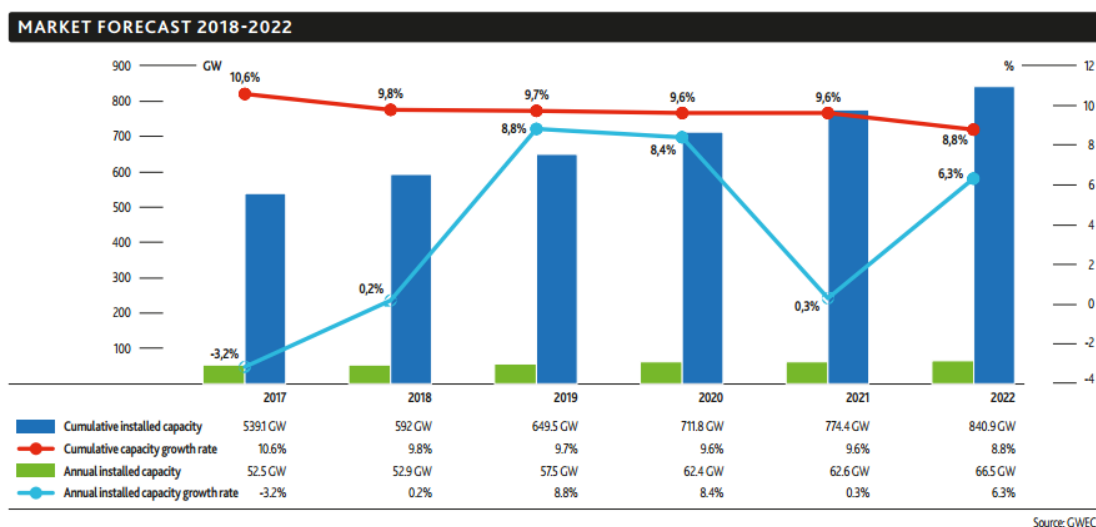


图 2 2018-2022 年全球风电年度新增和累计装机容量市场预测（单位：GW）

2017 年，亚洲地区风电新增装机容量 24.4 GW，占同期全球新增装机容量的近一半，再次成为全球风电增长引擎。其中，中国以 19.5 GW 继续领跑亚洲新增装机排行榜，使得中国累计装机达到 188 GW，稳居全球第一大风电市场宝座；但随着国家电力需求增速放缓和发展太阳能计划，预计未来五年中国的风电增速会趋缓。印度在 2017 年创下 4.1 GW 新增装机纪录，累计装机达 32.8 GW，成为紧随中国之后的亚洲第二大风电市场；但由于缺乏政策延续性，预计印度 2018 年的风电增长将会放缓。其他亚洲国家，巴基斯坦 (+199 MW)、日本 (+177 MW)、韩国 (+106 MW)、越南 (+38 MW) 和泰国 (+24 MW) 等也都呈现出不同程度的增长。总体而言，未来五年亚洲市场风电装机容量预计新增 141.7 GW（图 3），到 2022 年底累计装机容量预计达到 370 GW（图 4）。

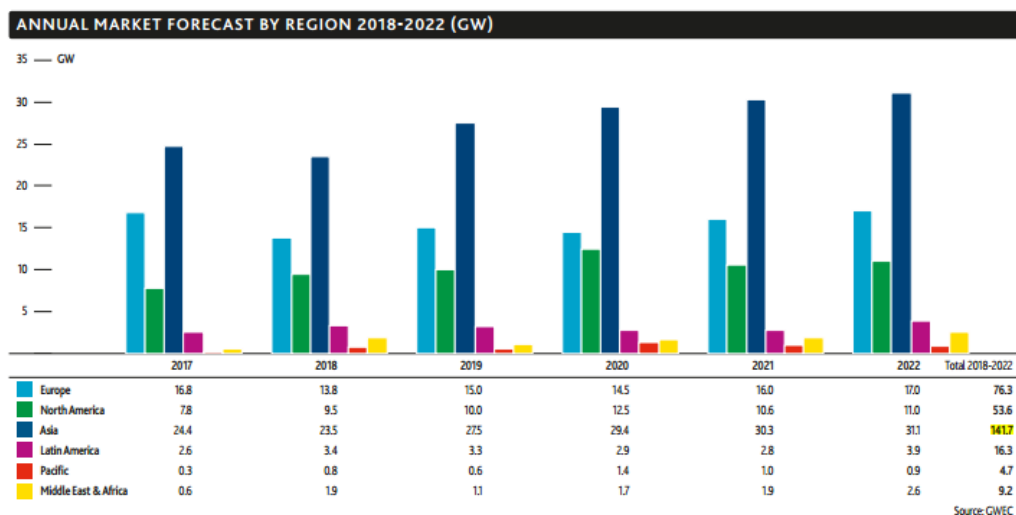


图 3 2018-2022 年全球不同区域新增风电装机容量预测（单位：GW）

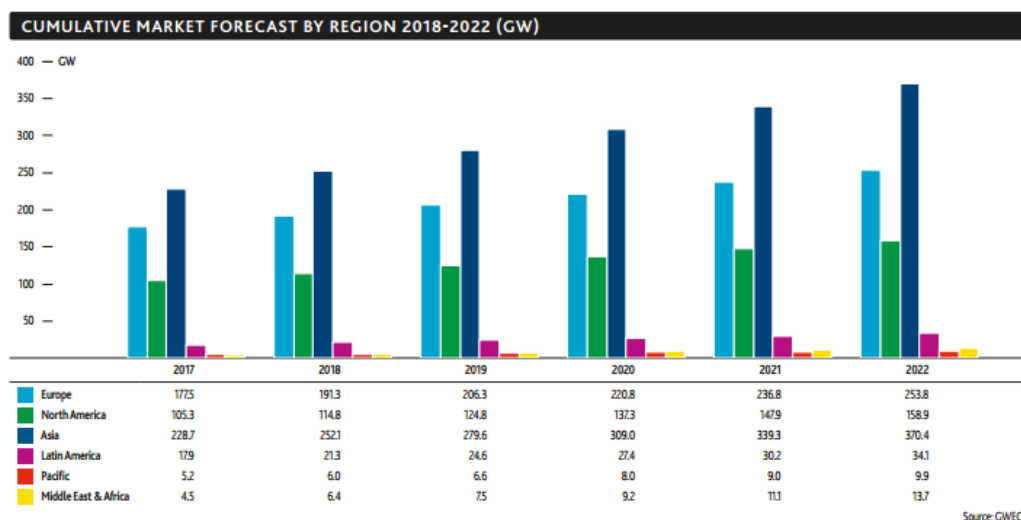


图 4 2018-2022 年全球不同区域累计风电装机容量预测（单位：GW）

2017 年，欧洲风电实现了创纪录增长，新增装机 16.8 GW。其中德国新增装机最多，为 6.6 GW，紧随其后的是英国（+4.2 GW）和法国（+1.7 GW）。芬兰、比利时、爱尔兰和克罗地亚纷纷突破了装机纪录。截至 2017 年底，全欧风电累计装机容量达到 178 GW，其中德国、西班牙和英国分别以 56.1 GW、23.2 GW 和 18.9 GW 位居累计装机排行榜前三甲。瑞典、波兰、葡萄牙、丹麦和土耳其五个国家累计装机都超过 5 GW；奥地利、比利时、芬兰、希腊、爱尔兰、荷兰和罗马尼亚 7 个国家累计装机都超过 1 GW。总体而言，预计欧洲将继续按照 2020 年的可再生能源目标推进风电产业的发展，这对推动欧洲风电市场上升将起到积极的促进作用。到 2022 年，欧洲风电装机容量预计新增约 76 GW，累计装机预计达 254 GW。

在北美地区，2017 年风电市场持续了过去数年强劲发展态势。其中，美国表现最为抢眼，以 7.1 GW 年度新增装机容量再次主导北美风电装机，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。受益于 10 座新建风电场的投入运营，2017 年加拿大新增风电装机 341 MW。墨西哥 2017 年新增装机容量 478 MW，未来数年将按照新的能源改革和政府目标持续发展。总体而言，预计未来五年北美地区新增装机容量约为 53.6 GW，届时累计装机预计达 159 GW。

拉丁美洲方面，巴西以新增 2 GW 风电装机引领该区域市场增长，令人鼓舞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。乌拉圭新增装机 295 MW，累计装机达 1.5 GW，使得乌拉圭极其接近 100% 可再生能源电力目标。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。总体而言，预计到 2022 年拉丁美洲地区的新增装机容量将达到 16 GW，累计装机将达 34 GW。

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，新增装机 618 MW。肯尼亚和摩洛哥也有一批新建的风电项目正在积极开

展中，并将在 2018 年完工投入使用。预计到 2022 年，两个地区新增装机之和将达到 9 GW，使得累计装机之和有望达到 14 GW。大洋洲相对沉寂，仅澳大利亚新增装机 245 MW。澳大利亚在 2017 年签署了很多风电新项目，预计会在未来几年保持稳定增长态势，受此驱动，预计到 2022 年大洋洲新增装机 4.7 GW。

海上风电方面，2017 年较 2016 年同比飙涨了 95%，获得 4.3 GW 的创纪录装机增长，集中位于 9 个风电市场，包括：英国 (+1.6 GW)、德国 (+1.2 GW)、中国大陆 (+1.1 GW)、比利时 (+165 MW)、芬兰 (+60 MW)、中国台湾 (+8 MW)、日本 (+5 MW)、韩国 (+2 MW) 和法国 (+5 MW)。截至 2017 年底，全球海上风电累计装机达到 18.8 GW，其中近 84% 的海上风电装机 (15.8 GW) 位于 11 个欧洲国家海岸附近的海域，16% 位于中国大陆，其余位于越南、日本、韩国、美国和中国台湾地区。英国是全球最大的海上风电市场，累计装机为 6.8 GW，2017 年市场份额占比 36%，德国 (28.5%) 次之，中国 (15%) 第三，随后是丹麦 (6.8%)、荷兰 (5.9%)、比利时 (4.7%) 和瑞典 (1.1%)。

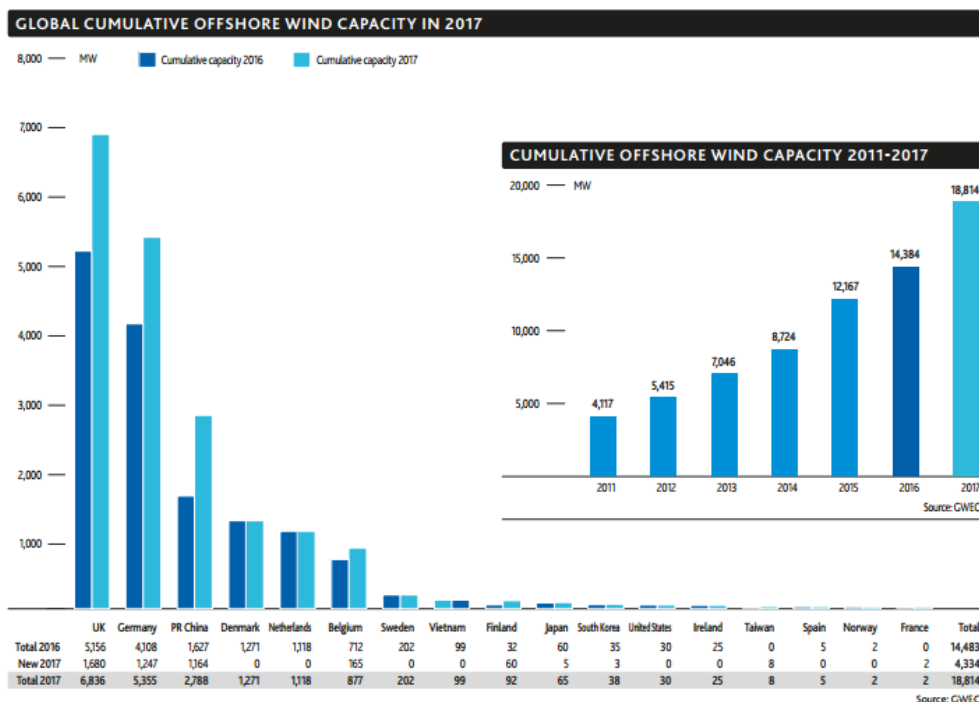


图 5 全球不同国家和地区海上风电装机发展态势 (单位: MW)

(郭楷模)

项目计划

DOE 资助 2300 万美元推进海洋能源开发利用技术研发

4 月 30 日，美国能源部 (DOE) 宣布资助 2300 万美元支持“海洋能源开发利

用技术”研发项目³，旨在开发经济、高效、环保的海洋能源（波浪能、潮汐能、海流能等）开发利用技术，包括先进的机械能量转换系统原型、动力输出装置、电子电力和控制系统等，并评估和减轻海洋能源开发的环境影响，降低海洋能源开发成本，加速海洋能源技术的商业化，维持美国在海洋能源领域的全球领先地位。本次资助项目涵盖三大技术主题，包括：（1）新型海洋能机械能量转换系统原型；（2）新型动力输出装置和控制系统的设计和测试；（3）海洋环境保护和监管；具体内容参见表 1。

表 1 海洋能源开发利用技术研发项目具体内容

主题	研究内容
新型海洋能机械能量转换系统原型	利用计算机仿真模拟来开展新型海洋能源（波浪能、潮汐、海流等）转换原型系统开发和测试工作，以缩短系统的设计开发时间，降低开发成本，加快推进有潜力技术的商业化
动力输出装置和控制系统的的设计和测试	设计和开发新型的海洋能源动力输出系统原型和先进实时控制系统的，将海洋能量的捕获效率翻倍，并在实验室环境和现场水域进行技术验证
海洋环境的保护和监管	全面评估和考量海洋能源开发利用过程中的潜在环境影响（如开发利用海洋能的装置、技术方法和活动都可能对海洋环境带来影响），系统收集和分析相关数据，以为联邦和州政府的相关管理机构提供科学的信息，帮助其更好地开展海洋环境监管工作

（郭楷模）

DOE 资助 3450 万美元推进建筑节能技术研发

4 月 27 日，美国能源部（DOE）宣布资助 3450 万美元用于支持新型高效建筑节能技术研发⁴，旨在研发适应于新、旧建筑的高效能建筑部件、系统及模型（先进的供电供热装置、通风系统、能源优化管理系统等），提升建筑的能效水平，减少建筑能耗及其相关的碳排放。本次资助主要关注两大主题，包括先进的建筑节能技术和高效固态照明技术，具体内容参见表 1。

表 1 建筑节能项目两大主题具体研究内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
先进的建	•开发先进的分离技术（如膜分离、吸附分离等），以提升建筑暖通	1950

³ Undersecretary of Energy Menezes Announces \$23 Million in New Funding to Advance Marine Energy Technologies. <https://www.energy.gov/articles/undersecretary-energy-menezes-announces-23-million-new-funding-advance-marine-energy>

⁴ U.S. Secretary of Energy Rick Perry Announces \$105 Million in New Funding to Advance Solar Technologies. <https://www.energy.gov/articles/us-secretary-energy-rick-perry-announces-105-million-new-funding-advance-solar-technologies>

建筑节能技术	<p>空调系统、热水器和家用电器的能效，以减少能耗</p> <ul style="list-style-type: none"> •开发智能、可调谐、高绝缘性的建筑围护结构材料，改善建筑的耐热性和通风性，减少供暖和制热的用电负荷 •开发R7到R10级别的高绝缘性窗户技术以及新型的玻璃涂层技术，提高耐热性 •开发监测建筑物状况和能源优化利用的感应器与控制系统 •开发能够同时用于两个或者多个建筑物的新一代建筑节能管理系统 •开发新技术，提升天然气或者其他燃料驱动的建筑用能设备的能效 	
高效的固态照明技术	<ul style="list-style-type: none"> •开展新型LED、OLED照明技术研究，以及交叉照明技术研究，验证新型照明技术对人体健康的益处 •开发高效LED技术、先进的LED照明技术、LED电子电力器件、OLED光启动器、OLED照明器件原型 •探索先进的LED、OLED照明灯具、面板的制造、封装工艺 •将新型的照明技术应用在模拟环境空间中，评估新照明系统解决方案的经济性 	1500

(郭楷模)

DOE 资助 1900 万支持先进电池和快充技术研发

4月30日，美国能源部（DOE）宣布资助1900万美元用于支持“电池快充技术”和“电动汽车快充系统”两大主题下遴选的12个研发项目⁵：

(1) “电池快充技术”研究项目将专注于开发更高容量、更快充电速度的电池技术，以在2028年之前将车用动力电池组成本降到100美元/千瓦时以下，续航里程增加至300英里以上，并将电池充电时间缩短至15分钟以内。研究内容参见表1。

表1 电池快充技术项目主要研究内容

承担机构	研究内容	资助金额/万美元
加州大学圣地亚哥分校	在充电过程中研究表面声波湍流电解质混合以实现快速充电	65
宾夕法尼亚州立大学	研究先进的电池单元设计和策略，以在更高的温度下工作并改善电池寿命和快速充电	100
密歇根大学	研究三维分层石墨结构，用于快速充电	150
SLAC国家	研究先进的电解质和优化的电池设计，实现极快的充电速	150

⁵Department of Energy Announces \$19 Million for Advanced Battery and Electrification Research to Enable Extreme Fast Charging.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-19-million-advanced-battery-and-electrification-research-enable>

加速器实度 实验室		
橡树岭国家实验室	研究新型电解质，以提高锂离子从阴极到阳极的传输速率	90
Microvast 公司	开发新的电解质添加剂，优化活性材料和电极配方	150
纽约州立大学石溪分校	研究控制金属涂覆石墨电极上的锂沉积过电位	80
田纳西大学	高功率掺杂钛铌氧化物阳极的研究	72
Coulometrics 公司	研究先进的电池单元设计，具有较低的电阻以实现极快的充电	100

(2)“电动汽车快充系统”研究项目专注于开发可在高功率水平下快速充电的电动汽车充电系统，将充电功率水平从目前的 7 kW 家庭充电增加到高达 400 kW，缩短充电时间。具体研究内容参见表 2。

表 2 电动汽车快速充电（XFC）系统开发项目主要研究内容

承担机构	研究内容	资助金额/万美元
无线先进汽车电气化公司	开发高功率无线高速充电技术，减少在洛杉矶港的电动拖运卡车的充电时间	430
宾夕法尼亚州立大学	为电动汽车设计和测试一种高效、中压固态变压器，为电动汽车提供 400 kW 的快速充电器	350
密歇根大学	开发一种可用于电动汽车的完全自动化、模块化的高功率感应极限快速充电系统	220

(吴勘 郭楷模)

前沿与装备

新型可充电的水基锰氢电池实现超万次充放电循环

随着可再生能源开发利用规模的不断扩大及智能电网产业的迅速崛起，开发低成本、长寿命、高能量密度的电网级别储能技术显得意义重大。斯坦福大学 Yi Cui 教授课题组研究设计开发了全新的可充电的水基锰氢电池。研究人员以碳纳米带为正极、水基硫酸锰 (MnSO_4) 为电解质和铂催化剂包覆的碳纳米带为负极组装成完整的水基锰氢电池。通过有限元分析模拟，发现电池的工作机理为：正极是可溶性 Mn^{2+} 与 MnO_2 固体之间循环双电子反应，负极则是在 H_2 和 H_2O 之间氧化还原循环反应。电化学性能测试显示，在 10 mA cm^{-2} 恒电流充放电循环情况下，采用 1 摩尔

的 MnSO_4 电解质时显示出明显的放电平台~1.2V，电池放电比容量为 1 mAh cm^{-2} ，电池初始的库伦效率为 62%，经过 10 次循环后升高至 92%；而在电解质中额外添加 0.05 摩尔 H_2SO_4 溶液后，电池放电平台进一步提高 50 mV，显示出更好的动力学行为，且电池的库伦效率达到了 100%；而将充放电电流密度提高到 100 mA cm^{-2} ，电池放电比容量依然保持 1 mAh cm^{-2} 水平，表现出优异的高倍率性能，且经过 10000 多次的充放电循环后电池性能基本无衰减，展现出优秀的循环稳定性。另外，当 MnSO_4 电解质浓度进一步提高到 4 摩尔后，电池质量能量密度可达~ 139 Wh kg^{-1} （体积能量密度 210 Wh L^{-1} ）。研究人员最后指出，电池是否足够优秀，自放电也是重要考虑的因素。新型锰氢电池的长期自放电行为表明，自放电 80 小时后可保持~1.25V 的电位，但剩余容量仅为初始的~71%。下一步工作将致力于高效的集流体开发、电解液纯化、先进的气体管理等领域的研究，以进一步提高锰氢电池的自放电性能，提高放电比容量。该项研究设计制备了新型的低成本锰氢电池，实现了超万次的充放电循环，电池寿命在现有主要储能方式的基础上实现了一个数量级的提升，有望应用于大规模储能领域。相关研究工作发表在《*Nature Energy*》⁶。

（郭楷模）

无空穴碳电极全无机钙钛矿太阳能电池实现低成本高效运行

钙钛矿太阳能电池短短数年时间转换效率已经突破 22%，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（传统钙钛矿含有易挥发、不稳定的有机阳极离子）和成本（目前的器件广泛采用价格昂贵的空穴和贵金属电极）问题成为了该电池技术走向商业化应用的一大障碍。日本冲绳科学技术研究所的 Yabing Qi 教授带领的研究团队，设计制备了锰元素部分替代铅的新型双卤素双金属离子的全无机钙钛矿吸光层，并用碳电极替代传统的 spiro-OMeTAD 空穴和金电极，不仅增强了电池转换效率，还显著改善了器件稳定性和成本，为钙钛矿电池商业化奠定了关键技术基础。研究人员用碘化锰（ MnI_2 ）替代部分的全无机钙钛矿铯铅碘溴（ CsPbIBr_2 ）溶液中的溴化铅，以将 Mn^{2+} 离子掺杂到无机钙钛矿 CsPbIBr_2 材料中，以期改变钙钛矿光电结构，从而实现对其能隙调控。二次离子质谱表征显示， Mn^{2+} 离子成功地替代了部分的 Pb^{2+} 插入到 CsPbIBr_2 晶格中，即成功制备了 Mn^{2+} 离子掺杂的无机钙钛矿 $\text{CsPb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{I}_{1+2x}\text{Br}_{2-2x}$ （ x 为掺杂的 Mn^{2+} 离子浓度）。此外，相比 Pb^{2+} 离子， Mn^{2+} 离子半径更小，这会使得 BX₆ 八面体（ $\text{B} = \text{Pb}$ 或 Mn ； $\text{X} = \text{I}$ 或 Br ）体积收缩，有助于提升钙钛矿晶体的稳定性。通过调整掺杂浓度，研究人员实现了对钙钛矿带隙的调控，紫外可见光谱和超紫外光电子谱表征显示，当 $x=0.005$ 时，无机钙钛矿带隙宽度（ CsPbIBr_2 带隙为 1.89 eV）缩减到 1.75 eV（带隙变窄能够吸收利

⁶ Wei Chen, Guodong Li, Allen Pei, et al. A manganese-hydrogen battery with potential for grid-scale energy storage. *Nature Energy*, 2018, DOI: 10.1038/s41560-018-0147-7

用更多的太阳光能量），而扫描电镜和 X 射线衍射测试显示此时钙钛矿的成膜效果和结晶度也得到了提高，有利于载流子传输。随后研究人员将制备的两种全无机钙钛矿 CsPbIBr_2 和 $\text{CsPb}_{0.995}\text{Mn}_{0.005}\text{I}_{1.01}\text{Br}_{1.99}$ 作为吸光层，同时采用廉价的碳电极替代昂贵的 spiro-OMeTAD 空穴和金电极，来组装电池器件。光电性能表征结果显示，基于 Mn^{2+} 离子掺杂的全无机钙钛矿太阳能电池转换效率较无掺杂的器件大幅提升近 20%，即从 6.14% 增大到 7.36%。更为关键的是 Mn^{2+} 离子掺杂还显著增强了电池稳定性，老化测试结果显示 Mn^{2+} 离子掺杂的全无机钙钛矿太阳能电池在空气环境中连续辐照运行 300 小时后，其效率仅衰减 8%；而无掺杂的器件仅进行了 144 个小时的连续辐照测试后，转换效率便大幅下降 20%。该项研究通过离子掺杂工程，实现了对无机钙钛矿晶体带隙和晶体结构优化，大幅改善了无机钙钛矿光吸收特性和结构稳定性，从而增强电池器件的性能，同时用廉价的碳电极取代传统钙钛矿电池中的昂贵的空穴传输层和金电极，大幅降低了制造成本，为制备高效稳定的钙钛矿电池提供了新途径。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》⁷。

（郭楷模）

多孔石墨烯/镍钼合金催化剂实现高效稳定析氢

电解水制氢是一种洁净、高效的能源转换技术，而析氢电催化剂是决定制氢效率的一个关键因素。然而，当前高效的制氢催化剂主要采用贵金属（如铂、钌等）材料，价格高昂、储量稀缺等问题严重限制了电解水制氢技术的规模化应用。因此，发展廉价、高性能的非贵金属催化剂成为该技术的前沿热点。筑波大学的 Tadafumi Adschiri 教授研究团队成功地合成了一种氮掺杂多孔石墨烯修饰的三维镍钼（NiMo）合金复合电极材料，展现出了与商用的贵金属催化电极 Pt/C 相当的催化产氢效能，且具备了良好的耐酸性。研究人员首先通过化学还原法将镍钼氧化物（ NiMoO_4 ）和二氧化硅（ SiO_2 ）纳米颗粒混合物进行高温还原，制备出了 SiO_2 纳米颗粒负载的多孔 NiMo 合金复合材料；接着通过化学气相沉积方法在多孔 NiMo 合金表面沉积一层带有纳米孔洞的多孔氮掺杂石墨烯薄膜。研究显示 NiMo 合金表面的 SiO_2 纳米颗粒作为骨架有效地阻止了合金孔洞界面处石墨烯的进一步生长，从而获得了多孔石墨烯。由此，研究人员通过调整 SiO_2 纳米颗粒的负载量（ 10^{-5} 到 $10^{-1}\text{wt}\%$ 质量分数）优化了石墨烯孔的尺寸。电化学测试结果显示，在 0.5 摩尔的硫酸溶液中，无孔石墨烯薄膜完全覆盖的 NiMo 催化电极多催化过电位为 114 mV，催化转化频率为 0.8 H_2/s ，经过 1000 次循环后催化电流降至初始的 39%；而多孔石墨烯修饰的 NiMo 合金催化电极过电位仅为 30 mV，催化转化频率为 1.3 H_2/s ，经过 1000 次循环后催化

⁷ Jia Liang, Zonghao Liu, Longbin Qiu, et al. Enhancing Optical, Electronic, Crystalline, and Morphological Properties of Cesium Lead Halide by Mn Substitution for High-Stability All-Inorganic Perovskite Solar Cells with Carbon Electrodes. *Advanced Energy Materials*, 2018, 1800504 DOI: 10.1002/aenm.201800504

电流可维持初始的 68%，达到了商用的 Pt/C 催化电极相当的催化性能，即多孔石墨烯修饰的 NiMo 合金催化电极具备更加优异的催化活性和稳定性。通过密度泛函理论研究，多孔石墨烯修饰的 NiMo 合金催化电极拥有更加优异性能的原因在于多孔石墨烯改善了电荷转移，有利于 H 原子的吸附；另外多孔石墨烯的纳米孔与 NiMo 合金表面之间的相互作用，有效调整局部电子结构，导致 H 原子吸附的吉布斯自由能接近零，有助于析氢反应化学过程进行；且这种多孔石墨烯薄膜可以充当保护膜有效减轻 NiMo 合金催化剂被酸性电解质腐蚀，增强了催化稳定性。该项研究设计合成了新型多孔石墨烯包覆的镍钼合金复合催化电极，一方面改善了催化活性，另一方面增强了催化材料耐酸性提升循环稳定性，实现了高效稳定地光解水产氢。相关研究成果发表在《ACS Catalysis》⁸。

(刘竞 郭楷模)

超高浓度盐水电解质显著提高锂-空气电池循环寿命

锂-空气电池具有极高的理论能量密度，达 11000 Wh/kg，近 10 倍于传统的锂离子电池，被广泛认为是电池领域未来的颠覆性技术。然而循环性能差、倍率性能低等一系列问题阻碍了该电池技术的工业化应用。波士顿大学 Dunwei Wang 教授领导的研究团队设计合成了一种超高浓度的双三氟甲烷磺酰亚胺锂 (LiTFSI) 盐水电解质，有效地抑制了电解质中水分子的活性及其副反应，从而显著增强了电池的性能和循环寿命。研究人员首先配置了一份低浓度的 LiTFSI 盐水电解质，随后通过浓缩将盐浓度提升到了 21 摩尔的超高浓度，使得水分子大幅减少，且大部分通过化学键被固定在了 LiTFSI 分子周围，极少数处于游离状态，这有助于保持电解质的高导电率和抑制水分子带来的副反应，增强电池性能。研究人员以制备的超高浓度 LiTFSI 盐水作为电解质、多孔碳为正极应用于锂-空气电池，与传统的二甲醚 (DME)、二甲基乙酰胺 (DMA) 有机电解质锂-空气电池进行对比研究。循环伏安测试结果显示，相比有机电解质，超高浓度 LiTFSI 盐水充放电过程主要就是放电产物过氧化锂 (Li_2O_2) 形成和分解，基本不涉及与 H_2O 分子相关的副反应 (如水分子分解、电解质分解)，即高浓度 LiTFSI 盐水电解质电池电化学反应主要是 O_2 和 Li_2O_2 之间的可逆非质子转换，这有助于提高电池性能。为了确定反应过程主要是过氧化锂 (Li_2O_2) 形成和分解，研究人员对充放电过程进行一系列研究和表征。放电产物的 X 射线衍射检测分析显示，产物在 32.8° 、 34.9° 和 40.6° 出现了最显著的衍射峰，为 Li_2O_2 所有，充电后上述衍射峰消失表明 Li_2O_2 分解。对放电产物定量分析显示，高浓度 LiTFSI 盐水电解质的回收率为 85.0%，DME 的回收率为 79.4%，DMA 的回收率为 79.1%，高浓度 LiTFSI 盐水的最高回收产率有力地表明了在高浓度 LiTFSI 盐水中形

⁸ Oshikazu Ito, Tatsuhiko Ohto, Daisuke Hojo, et al. Cooperation between holey graphene and NiMo alloy for hydrogen evolution in an acidic electrolyte. *ACS Catalysis*, 2018, 8 (4): 3579.

成的副产物比在 DME 或 DMA 中生成的副产物少。随后进行恒电流测试,采用 DME 电解质电池循环次数为 16 次,而 DMA 电池循环次数更是少到个位数,仅为 8 次;相反采用超高浓度 LiTFSI 盐水电解质电池的循环次数达到了 70 次,远高于传统有机电解质,并且在 50-400 mA/g_{carbon} 的放电电流区间下,电池获得了 1500-3500 mAh/g_{carbon} 区间的放电比容量,展现出优异的高倍率性能。而当进一步用钉修饰的硅化钛 (TiSi₂) 电极取代多孔碳电极,电池性能得到进一步提升,循环性能测试表明,在 1000 mAh/g_{Ru} 深度放电条件下,超高浓度 LiTFSI 盐水电解质锂-空气电池能够稳定运行 300 次,是目前文献报道的在同样放电深度下所获得的最长循环寿命。该项研究设计合成了全新的超高浓度盐水电解液,在保障电解质良好导电率的前提下,有效地“锁住”水分子抑制了副反应,显著提升了电池的性能和循环寿命,为设计开发高性能锂-空气电池开辟了新的技术路径。相关研究工作发表在《Chem》⁹。

(罗卫 郭楷模)

⁹ Qi Dong, Xiahui Yao, Yanyan Zhao, et al. Cathodically Stable Li-O₂ Battery Operations Using Water-in-Salt Electrolyte. *Chem*, 2018, DOI: 10.1016/j.chempr.2018.02.015

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

