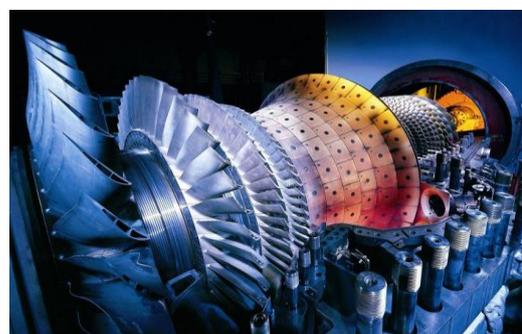


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 欧盟发布面向 2050 氢能发展路线图
- 欧盟创建欧洲电池技术与创新平台
- 美国 CRS 发布报告评述第 116 届国会面临的科技问题
- 《麻省理工科技评论》专刊评述中国能源重大科技进展
- DOE 资助 2050 万美元推进锂电池回收再利用事业发展

主管：中国科学院文献情报系统战略情报服务协调组

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

欧盟发布面向 2050 氢能发展路线图2
欧盟创建欧洲电池技术与创新平台5
美国 CRS 发布报告评述第 116 届国会面临的科技问题6

中国研究

《麻省理工科技评论》专刊评述中国能源重大进展7

项目计划

ARPA-E 资助 3500 万美元支持超高效电力管理技术研发9
DOE 资助 2800 万美元开展浮动式风力涡轮机研发10
DOE 资助 2050 万美元推进锂电池回收再利用事业发展11

前沿与装备

纳米光子晶体衬底助力钙钛矿 LED 创发光记录12
BF₄⁻阴离子替代掺杂显著改善钙钛矿太阳电池性能14
二维金属有机骨架平台促进可见光驱动高效分解水制氢15
纳米纤维素助力首次实现 3D 打印高性能锂金属微电池12

本期概要

欧洲燃料电池和氢能联合组织 (FCH-JU) 发布《欧洲氢能发展路线图：欧洲能源转型的可持续发展路径》报告，提出了面向 2030、2050 年的氢能发展路线图，分析了欧洲发展氢能必要性和益处：氢能是建筑、交通和工业大规模脱碳的最佳选择；氢能可实现跨部门、时间和地点灵活转移能源，在向可再生能源转型中发挥系统性作用；发展氢能与用户的偏好和便利性需求相一致。为了促进欧洲氢能发展，报告提出了八大战略性建议。详见正文。

欧盟委员会能源总司宣布创建欧洲电池技术与创新平台 (BATTERIES Europe)，旨在通过审查欧盟战略能源技术规划 (SET Plan) 电池实施计划和战略交通研究与创新议程 (STRIA) 的交通电气化路线图中的关键研究创新领域，以确定技术路线图及研究和创新优先事项：(1) SET Plan 电池实施计划研究创新重点领域涵盖了电池材料/化学/设计和回收、制造技术和电池应用集成；(2) 交通电气化路线图确定的到 2050 年研究创新优先行动涉及的内容主要有公路交通、水运、航空和铁路运输四个方面。详见正文

美国国会研究服务局 (CRS) 发布《第 116 届国会面临的科技问题》报告，分析了第 116 届美国国会面临的包括能源技术在内诸多科技问题：就能源领域而言，报告重点分析了碳捕集和封存、乏燃料处理、生物燃料、海洋能源、核聚变能等相关领域的技术问题，如乏燃料循环和处置技术的研发资金分配、新概念核反应堆的许可和监管框架、生物燃料激励措施、海洋能源钻探技术、国际热核聚变实验堆计划资金、碳捕集和封存的税收抵免政策等系列问题。

《麻省理工科技评论》120 周年专刊以“中国问题”为主题，全面评述了中国科技发展的重大进展及面临的问题：中国的高压输电技术使其能够建立庞大的输电网，这可能是解决气候问题的关键；中国一直是核电的坚决倡导者，但由于技术成本过高和对安全性的担忧，将有可能放慢脚步；中国已经成为最大电动汽车生产国，改变了在传统汽车制造上的劣势地位。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 2050 万美元用于促进锂电池回收再利用事业发展的两大事项：(1) 其中 1500 万美元用于成立一个国家实验室合作建立的锂电池回收再利用研发中心，重点关注具有成本效益的回收再利用工艺研发；(2) 另外 550 万美元作为“锂离子电池回收竞赛”奖金，旨在鼓励美国相关企业探索收集、储存和运输废弃的锂离子电池创新解决方案 (涵盖了电动汽车、消费电子、工业和固定应用领域)。

美国能源部先进能源研究计划署 (ARPA-E) 宣布资助 3500 万美元用于支持超高效电力管理技术研发，涵盖两大主题，包括：(1) “构建可靠电子产品以安全达到千伏有效额定值 (BREAKERS)”，将致力于开发新型直流电设备，提高电力输送效率和缩短反应时间来增强电力管理；(2) “OPEN+千瓦设备”群组子计划，将致力于解决中压电力电子设备面临的各种挑战。

西北大学 Hongli Zhu 教授带领的科研团队借助纳米纤维 (CNF) 首次通过 3D 打印技术构建了高性能微型锂金属电池：3D 锂金属电池凭借其良好的纳米多孔结构，有效地抑制了锂枝晶的生长，提升了电池性能和循环寿命，为设计开发高性能的锂金属电池提供了全新技术方案。

欧盟发布面向 2050 氢能发展路线图

2月11日，欧洲燃料电池和氢能联合组织（FCH-JU）发布《欧洲氢能发展路线图：欧洲能源转型的可持续发展路径》报告¹，提出了面向2030、2050年的氢能发展路线图，为欧洲大规模部署氢能和燃料电池指明方向，阐明了发展氢能的社会经济效益：到2030年氢能产业将为欧盟创造约1300亿欧元产值，到2050年达到8200亿欧元。报告最后为氢能产业各利益相关方提出了战略性发展建议。主要内容如下：

一、欧洲能源转型必须大规模部署氢能

1、氢能是建筑、交通和工业大规模脱碳的最佳选择

（1）欧洲建有庞大的天然气供应网络为工业、家庭供暖和发电提供服务，氢能将为这一网络脱碳发挥重要作用。可以将氢气混合到现有天然气网中进行输配，甚至直接输送纯氢气，或者用氢气和二氧化碳制成的合成天然气代替天然气。使用基于燃料电池的热电联产技术可提高天然气供暖系统的能效。

（2）在交通运输部门，氢气是卡车、公共汽车、轮船、火车、大型汽车和商用车最有前途的脱碳选择。燃料电池比电动汽车电池和内燃机消耗的原材料少得多；与快速充电相比，氢燃料补给设施仅需要城市和高速公路十分之一的空间；供应商可灵活供应氢气，而大规模部署快速充电设施需对电网进行重大升级。在航空领域，氢和合成氢燃料是大规模脱碳的唯一选择。

（3）工业领域可以燃烧氢气供热，并可将氢气或氢基合成燃料作为原料。例如，氢气可作为炼钢过程中的还原剂，还可用作炼油厂氨生产和加氢处理的原料。氢气与二氧化碳一起，可取代烯烃和烃类溶剂生产中的天然气。

2、氢能可实现跨部门、时间和地点灵活转移能源，在向可再生能源转型中发挥系统性作用

氢能是实现终端用能耦合的唯一大规模技术，利用可再生能源发电制氢，可进行灵活存储，并分配至终端用能部门满足能源需求；电网融合高比例可再生能源将加大短期和长期供需不平衡，虽然储能电池和需求响应可提供短期灵活性，但氢能是唯一可长期储能的大规模技术；通过管道、船舶或卡车中长距离输送氢气，可将低成本可再生能源地区与需求中心连接起来，且成本远低于输电线路。

3、发展氢能与用户的偏好和便利性需求相一致

在交通领域，燃料电池汽车能够达到与内燃机汽车同样的续航里程和燃料补给速度。在电力领域，能源企业可以利用现有的管道，将氢直接或者合成甲烷混合到

¹ Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition.
https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

天然气网络中。

二、发展氢能具有重大的社会经济环境效益

1、发展氢能将为欧盟带来巨大的社会经济和环境效益

到 2050 年，欧盟的氢气需求约为 2250 太瓦时，约占总能源需求的四分之一，发展氢能将产生显著的社会经济和环境效益。到 2030 年，部署氢能将为欧盟创造 1300 亿欧元的产业，出口潜力将达到 700 亿欧元，净出口额将达 500 亿欧元，氢能产业将为欧洲创造约 100 万个就业岗位。到 2050 年，欧盟氢能产业将达到 8200 亿欧元，提供 540 万个就业岗位，氢能将减少欧盟约 5.6 亿吨碳排放。

2、欧盟氢能发展阶段性目标

根据欧盟大规模发展氢能的愿景，报告提出了部署氢能的阶段性目标：

(1) 交通运输部门，到 2030 年欧盟将拥有 370 万辆燃料电池乘用车和 50 万辆燃料电池轻型商用车，分别占乘用车的 1/22 和轻型商用车的 1/12，此外约有 4.5 万辆卡车和公共汽车由燃料电池驱动，将有约 570 辆燃料电池列车替代柴油列车。

(2) 建筑部门，到 2030 年氢气将取代约 7% 的建筑天然气供应，到 2040 年达到 32%，还将分别在 2030 年和 2040 年满足约 250 万户和超过 1100 万户家庭供暖需求。此外，到 2040 年还将部署超过 250 万套燃料电池热电联产系统。

(3) 工业部门，到 2030 年实现约三分之一的超低碳制氢。此外，必须对具有较大减排潜力的技术（如直接还原炼铁）进行大规模可行性测试。

(4) 电力部门，到 2030 年前实现将过剩可再生能源大规模转化为氢气、大规模氢气发电示范以及可再生能源-氢气发电厂。

三、氢能发展前瞻性战略建议

鉴于欧盟能源转型需求和发展氢能的益处，为了确保欧洲氢能发展顺利推进，报告就欧洲地区氢能产业各利益相关方（决策者、监管机构、企业等）提出了八大战略性建议：

1、监管机构和产业界应联合为所有应用部门制定清晰、长期、现实和整体的脱碳途径。除了为终端应用设定目标（例如车辆排放目标或建筑脱碳目标），还应考虑能源生产和分配的必要基础设施。此外，应为相关行业提供可靠的长期指导，以促进产品开发和基础设施相关的投资。

2、工业界应投资氢能和燃料电池技术，以保持竞争力，并抓住新机遇。应从长远的角度看待氢能和脱碳问题，并需要横向和纵向合作来克服困难。同样，产业界应与监管机构密切合作，发展强大的本土市场和价值链。还应与亚洲（如中国、日本、韩国）快速增长的氢能和燃料电池市场参与者开展合作，以对冲市场风险。

3、监管机构和天然气企业应开始实施天然气网络脱碳。应对天然气网络中的可再生能源占比设定有约束力的目标，或使用其他手段，如差价合约、上网电价或对

超低碳制氢进行投资支持。实行此类政策没有重大障碍：将合适浓度的氢气混入天然气可以与当前的天然气基础设施和电器兼容，不会大幅提高天然气价格，还可降低碳排放。但是，由于各成员国存在差异，需要对相关法规进行协调和统一。

4、电力系统监管机构应鼓励电解制氢以平衡电网供需。类似于在常规电力市场中使用上网电价措施，应该采用灵活的氢气生产等手段替代碳排放平衡机制。监管机构和产业界应该开发欧洲分布式电力-天然气市场，以显著降低生产成本，同时耦合终端用能部门稳定价格和应对季节性失衡。这也有助于提高可再生能源在电力系统的比例。此外，利益相关方应制定季节性和长期储能框架。

5、在交通运输部门，监管机构应制定清晰可靠的路线图、零排放交通政策和相应的资金和担保机制，解决氢燃料补给基础设施的投资问题。覆盖整个欧盟的基本路线图能够为汽车企业及其供应商带来信心，扩大燃料电池汽车产量，从而降低成本。在开发氢燃料补给基础设施的同时，应投资产品开发，并在最适合的领域进行广泛部署，如发展氢燃料卡车、公共汽车、货车和大型乘用车。相关行业应跨越传统行业壁垒进行合作，提供解决方案，整合基础设施。监管机构应提供激励措施来促进投资，例如公共采购燃料电池公交车，实施燃料电池卡车、长途汽车和出租车运营商规章，以及对燃料电池汽车驾驶者进行非货币奖励。

6、在工业领域，利益相关方应该启动从“灰色制氢”到低碳制氢的转变，并通过扩展氢能的新用途促进氢能替代化石燃料。监管机构应将无碳排放制氢纳入可再生能源目标，并在氢能的所有主要用途中设定低碳排放目标。上述转型会给氢气生产技术带来重大变革，扩大部署规模并降低成本，使氢能对工业外的其他领域也能够具有吸引力。

7、为了大规模生产超低碳氢能，企业应将电解水制氢扩大到商业水平，并证明碳捕集与封存技术有助于在未来十年内大规模生产超低碳强度的氢。在天然气网络中使用无碳氢的目标或差价合约/上网电价目标将激励投资商对电解水制氢行业投资。电解制氢和为电网提供稳定性的分布式解决方案都应得到充分激励。对于结合碳捕集与封存技术的甲烷水蒸汽重整制氢设施，利益相关方应考虑开展行业规模的示范项目，为未来部署制定路线图。

8、行业和监管机构应继续联合制定更多更详细的氢能和燃料电池应用发展计划，加速氢能的规模化应用。例如，最近氢气列车的成功应该是欧洲替代柴油列车的开始。在航运方面，监管机构还应制定港口、河流和湖泊的氢能发展目标。促进热电联产在居民和商业住宅领域部署有助于提高建筑物的能源效率，同时有助于充分利用氢气和天然气。

(于小燕 郭楷模 岳芳)

欧盟创建欧洲电池技术与创新平台

2月5日,欧盟委员会能源总司宣布创建欧洲电池技术与创新平台(BATTERIES Europe)²,旨在确定电池研究和创新的长期愿景,制定战略研究议程及路线图,并促进研究和创新团队的沟通交流。该平台汇集了欧盟电池研究与创新的主要利益相关方,涉及包括采矿、精炼、电池设计和制造、电池数字化和回收等价值链所有环节的相关技术,将建立新的合作模式,确保研究和创新进程与电池行业紧密结合,实现从概念到应用的无缝衔接。建立 BATTERIES Europe 平台是欧盟 2018 年提出的电池行动计划的主要行动之一,由欧洲能源创新网络 InnoEnergy、欧洲能源研究联盟(EERA)和欧洲储能协会(EASE)共同牵头。该平台将审查欧盟战略能源技术规划(SET Plan)电池实施计划³和战略交通研究与创新议程(STRIA)的交通电气化路线图⁴中的关键研究创新领域,以确定技术路线图及研究和创新优先事项,相关要点如下:

1、SET Plan 电池实施计划研究创新重点领域

①电池材料/化学/设计和回收,包括:电动汽车先进锂离子电池;锂离子电池快速/超快充电对材料和电池劣化的影响;改进电池用于固定储能;超越锂离子/锂基电池的电动汽车电池;发展循环经济并解决关键原材料瓶颈;地热盐水中的锂回收以及硬岩锂的可持续选矿技术。②制造技术,包括:促进材料加工技术和组件的开发并用于现有生产线;促进电池制造设备的发展。③电池应用和集成,包括:用于固定能量存储的混合电池系统;电池再利用和集成到智能电网。

2、交通电气化路线图确定的到 2050 年研究创新优先行动

①公路交通:实现电动汽车一次充电行驶超过 400 公里;城市公交电气化进展及示范;电动汽车的公共和商业采购;电动汽车性能认证;开发小型和轻型智能电动汽车;支持本地生产电池、组件和电动汽车;进一步发展小型和轻型智能电动汽车;示范重型汽车的电气化公路系统;为未来的高密度电池开发电化学系统。②水运:普及电动船舶知识;部署新材料和新技术;支持相关教育和培训;创新融资工具;开发新商业模式。③航空:电动飞机设计;零排放和极低噪音机场;培养专业的跨学科工作人员;降低成本,提高产品开发速度;储能系统改进;高温超导体成熟技术。④铁路运输:增加电动机械使用潜力;加强电动货运铁路运输;协调铁路能源;开发新型机车;增强节能;开发轻型车;开发城市联运枢纽;减少铁路基础

² Consolidating the industrial basis for batteries in Europe: launch of the European Technology and Innovation Platform on Batteries.
https://ec.europa.eu/info/news/consolidating-industrial-basis-batteries-europe-launch-european-technology-and-innovation-platform-batteries-2019-feb-05_en

³ Integrated SET-Plan Action 7 Implementation Plan.
https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/set_plan_batteries_implementation_plan.pdf

⁴ STRIA Roadmap “Electrification”.
<https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/roadmaps/STRIA%20Roadmap%20-%20Transport%20electrification.pdf>

设施损失。

(岳芳)

美国 CRS 发布报告评述第 116 届国会面临的科技问题

2月6日,美国国会研究服务局(CRS)发布《第116届国会面临的科技问题》报告⁵指出,科学技术对国家面临的许多问题具有普遍的影响,公共和私人的研发活动促进了科学和技术的进步,而这些进步可以推动国家经济增长、改善国民的健康和 生活质量,因此科技问题是国家必须给予优先关注的重点领域。为此,报告系统分析了第116届美国国会面临的十大领域科技问题,包括总体科技政策、农业、生物医学、气候变化和水资源、国防、能源、国土安全、信息技术、物理与材料科学以及航空航天。就能源领域而言,报告重点分析了碳捕集和封存、乏燃料处理、生物燃料、海洋能源、核聚变能等相关领域的技术问题。主要包括:

1、乏燃料处理

来自商业核反应堆的乏燃料含有大量用于制造燃料的铀原料,以及反应堆运行期间产生的钚和高放射性同位素。核能政策的一个根本问题是乏燃料是应该“再加工”还是“再循环利用”,以便为新的反应堆燃料提取钚和铀,或者直接处置而不进行后处理。核电的支持者指出,乏燃料仍含有大量能源,后处理可以重新利用,同时还可以减少放射性废物的长期危害。然而,再加工的钚也可用于核武器,因此乏燃料再循环批评者认为,联邦政府对该技术的支持可能会破坏美国的防核扩散政策。因此,乏燃料循环和处置技术的研发资金分配将是第116届国会持续重点关注的问题。

2、先进核能技术

目前在美国运行的所有商业核电站都是基于轻水反应堆技术。能源部长期以来一直在研究和开发其他非轻水堆核能技术,这些技术可能在安全、废物管理和成本方面具有优势。然而目前先进核反应堆在技术商业化方面面临困难。核能技术私营企业认为,先进反应堆商业化的一个主要障碍是核监管委员会(NRC)的许可程序是基于现有的轻水堆技术。他们敦促NRC制定适用于所有新概念核反应堆的许可和监管框架,他们还建议采用“分阶段审查程序”。第116届国会对先进反应堆关注的主要问题在于许可和监管法案修订工作,主要涉及研发、许可和示范的资金。

3、生物燃料

生物燃料不仅可以减少对国外石油来源的依赖性,还有助于改善农村经济,并减少温室气体排放,被认为是替代传统化石燃料的极佳选择。2007年,国会延长了一项支持增加先进生物燃料生产的政策-可再生燃料标准(RFS)。然而出于对环境

⁵ Science and Technology Issues in the 116th Congress.
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45491>

目标监管、公众舆论等多方面的考虑，美国国家环境保护局（EPA）重新加严了对生物燃料生产商监督，对提出的生物燃料豁免申请几乎全部否决。这给某些利益相关者带来了巨大的不确定性，结果导致一些先进生物燃料的目标无法实现。第 116 届国会将会重点考虑是否修改各种生物燃料激励措施，或维持现状。

4、海洋能源开发

技术创新是美国海洋能源发展的关键驱动因素。它们可以有助于勘探以前无法获得的资源，在低油价环境中提供成本效益，解决能源安全和环境问题，并促进美国海上风电等新兴行业的发展。2016 年，内政部（DOI）颁布了加强海上防喷系统和其他井控设备要求的安全法规。2018 年 4 月，DOI 公布了该法规的修正内容，包括可以降低工业成本和满足某些技术要求所需时间的若干变更。第 116 届国会关注的问题包括：北极海上钻探有关的技术；如何支持或鼓励海上风能开发和其他海洋可再生能源。

5、国际热核聚变实验堆计划（ITER）

ITER 是一项国际合作大科学工程项目，美国是主要参与方，承担 9% 的项目经费。近年来，ITER 管理问题、进度延误和成本增长导致国会提出终止美国参与 ITER 项目的建议。主要原因是国会认为美国为 ITER 提供的资金可能正在挤占用于国内聚变能源研究的资金。就聚变能源研究而言，第 116 届国会将会继续监督 ITER 的科学进展、成本和时间表，并可能重新启动是否继续支持美国参与项目的辩论。

6、碳捕集与封存（CCS）

应用 CCS 技术可以减少大型化石燃烧源所排放的二氧化碳量，是大规模减少温室气体排放、减缓全球变暖最经济、可行的技术路径。此外，还可以在 CCS 的基础上增加一个二氧化碳再利用环节，即将二氧化碳转化为具有高商业价值的化学品，如塑料、燃料等。第 115 届国会修订了《国内税收法》第 45Q 条，修正案增加了碳捕集和封存的税收抵免⁶。一些利益相关者认为，对第 45Q 节的修改可能是美国 CCS 发展史上的里程碑事件。第 116 届国会将会探讨 45Q 税收抵免政策如何实施，以及是否需要进一步修改立法来加速 CCS 的部署。

（廖明月 郭楷模）

中国研究

《麻省理工科技评论》专刊评述中国能源重大进展

近日，《麻省理工科技评论》120 周年专刊以“中国问题”为主题，评述了中国从基因编辑、芯片、量子卫星到火箭、核电反应堆等领域的重大科技进展及面临的

⁶ 45Q 税收抵免是美国《国内税收法》第 45Q 条，于 2009 年获得通过，针对将人为排放的 CO₂ 进行捕集并通过提高石油采收率（EOR）技术将其永久封存于地下的行为给予税收抵免。

问题⁷。就能源领域而言，重点分析了高压电网、核电和电动汽车三个领域。主要内容如下：

一、中国的高压输电技术可能是解决气候问题的关键

目前，中国正大力发展超高压输电技术，希望成为远距离输电网络的技术领导者，已自主开发了高压变压器、极端条件下的输电线路以及供需平衡快速调控软件等技术。截至 2017 年底，中国已建成 21 条超高压线路，还有 4 条正在建设中。

中国最初开发超高压输电线路仅是为了满足国内不断增长的能源需求。然而，现在中国希望将周边国家的电力系统连接成跨越国家和洲际的“超级电网”，这将平衡几个时区内的多种可再生能源电力，容纳更高比例的风能和太阳能等波动性可再生能源，降低二氧化碳排放量，可能成为解决气候问题的关键。目前中国国家电网已与韩国电力公司、日本软银集团和俄罗斯 Rosseti 电力公司签署了一项协议，合作开发连接上述国家和蒙古的东北亚“超级电网”。

但中国尚未实现对可再生能源的充分利用。由于需求不足，中国的可再生能源发电受限程度是世界上最高的。截至 2017 年底，在建或计划建造的超高压线路中，用于输送可再生能源电力的不到一半。另外，中国国家电网的主要目标市场是化石燃料发电占主导地位的贫穷国家，其高压线路短期内无法用于可再生能源电力。因此，对于中国的超高压输电能否发挥促进可再生能源电力的作用还存在质疑。

二、中国可能放慢发展核电的脚步

中国一直是发展核电的最坚定倡导者，2017 年全球投运的 4 座核电机组中有 3 座位于中国，中国具备每年建造 10 至 12 座核反应堆的能力。然而，自 2016 年以来，中国还没有启动新的核电项目。

日本福岛核事故引起了公众对核电的抵触，2017 年 8 月的政府调查显示，公众对发展核电的支持率只有 40%。为了避免发生类似福岛的核事故，需要采用更先进的设计和更强大的冷却系统以增加反应堆安全性，但这将增加核电的成本。2018 年 6 月，世界上最先进的反应堆（AP1000⁸和 EPR⁹）在中国并网，但其成本几乎是中国常规核电技术的两倍。另外，高昂的核电建筑成本也提高了投资风险。相比核电，风能和太阳能成本持续大幅下降，比新建核电站的电价低 20%。

从电力需求方面来看，迫切需要核电的阶段已经过去。21 世纪初期，中国经济蓬勃发展使电力消耗年增长超过 10%，然而在过去几年，随着经济增速放缓和多元化，电力需求年均增速不到 4%，中国已不需要大规模发展核电以应对电力短缺。目前，中国正自主开发华龙一号先进核反应堆，并推动核电出口。如果华龙一号成本过高，中国将着眼于开发下一代先进技术，如高温气冷反应堆、钠冷快堆、小型压

⁷ MIT Technology Review: The China issue. <https://www.technologyreview.com/magazine/2019/01/>

⁸ 美国西屋公司开发的先进压水原子能反应堆

⁹ 欧洲提出的第三代原子能反应堆

水反应堆等。然而，目前上述努力均未解决核电高成本等问题。如果中国放弃发展核电，这一技术将前景黯淡，不利于世界向低碳转型。

三、中国正利用电动汽车技术实现汽车领域的“弯道超车”

由于起步较晚，中国的汽车制造技术一直落后于国外。电动汽车的机械复杂性较低，更依赖电子技术，因此成为中国赶超国外汽车制造业的机会。中国已拥有完整的电子制造供应链，锂离子电池制造也领先全球。据华尔街日报预测，到 2020 年全球 56% 的锂离子电池将由中国生产。当前，电动汽车已成为“中国制造 2025”中的十大重点领域之一，并出台了相应的优惠政策。2013 年以来，已有近 500 家电动汽车企业在中国落地。另外，中国政府通过在大城市限制发放车牌数量来控制燃油汽车的排放污染，而电动汽车则不存在这一问题。中国电动汽车产业的发展改变了全球汽车行业的格局，其重心正从日本、欧洲和美国转移向中国。

（岳芳）

项目计划

ARPA-E 资助 3500 万美元支持超高效电力管理技术研发

2 月 7 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布为 12 个项目资助 3500 万美元¹⁰，旨在发展先进、高效的电力应用管理技术，让电网更好地服务工业、交通运输等应用领域。本次资助项目涉及“构建可靠电子产品以安全达到千伏有效额定值（BREAKERS）”主题研究计划和“OPEN+千瓦设备”开放式招标群组资助子计划，其中 BREAKERS 主题计划 8 个项目将致力于开发新型直流电设备，通过消除电气故障、防止电弧等安全隐患，提高电力输送效率和缩短反应时间来增强电力管理，并可能增加使用储能和可再生能源；而“OPEN+”群组子计划的 4 个项目致力于解决中压电力电子设备面临的各种挑战，尤其关注电网安全性和可靠性。具体内容参见表 1。

表 1 ARPA-E 资助的高效电力管理项目具体内容

主题计划	项目内容	资助金额/ 万美元
------	------	--------------

¹⁰ Department of Energy Announces \$35 Million for Ultra-Efficient Power Management.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-35-million-ultra-efficient-power-management>

BREAKERS	<ul style="list-style-type: none"> •为中压直流（MVDC）电力系统设计一种更高效、快速、低成本、紧凑、可靠的固态断路器，以保护 MVDC 系统免受电气故障影响，预计能在 500 微秒内做出响应 •开发基于碳化硅的直流宽带隙静态断路器，可以有效地消耗多余的能量，并自动协调跨多个设备的故障保护 •开发超高效 MVDC 机电/固态混合断路器原型，结合两种断路器的优点，具有低传导损耗和快速响应时间 •开发一种 MVDC 断路器，基于创新的气体放电管技术，具有极快的响应时间 •开发一种新型的具备浪涌保护功能的混合直流断路器，将实现多端直流电源系统，断路器的开关速度比现有技术快 10 倍，快速开关和固态器件/电路将减少稳态损耗 •开发一种超快谐振直流断路器，结合了具有宽带隙谐振电流源的真空断路器和新型执行器拓扑结构的优点 •开发模块化 T 型 MVDC 断路器原型，以降低成本和重量，降低制造难度，实现更高的可靠性、功能、效率和功率密度 •利用基于宽带隙半导体碳化硅和氮化镓的开关，开发用于中到高压电路的固态断路器 	2109
OPEN+千瓦设备	<ul style="list-style-type: none"> •为世界首个高压碳化硅超结场效应晶体管开发器件架构，用于在中压电路中提供高效的功率转换，这些晶体管可以扩展到高电压，且比当前商用硅基晶体管损耗低 10 倍 •开发适用于高压（15-20 kV）功率控制和转换的氮化镓（GaN）半导体材料，通过一种独特的方法产生低杂质污染的 GaN 薄膜 •开发一种电磁脉冲（EMP）避雷器，包括由半导体氮化镓（GaN）制成的二极管，能够在纳秒时间尺度内及时响应，可阻断 20 kV 电路，保护电网免受 EMP 损害 •开发集成在中压电源模块中的 20 kV 氮化镓器件，加速电力电子技术在电网规模能源应用中的部署 	1372

（岳芳 郭楷模）

DOE 资助 2800 万美元开展浮动式风力涡轮机研发

2月1日，美国能源部（DOE）宣布资助2800万美元开展“集成航海和综合自动控制系统的轻量化浮动式风力涡轮机（ATLANTIS）”主题研究项目¹¹，旨在采用控制协同设计方法整合跨学科、跨技术领域的科学家、工程师和企业的研究力量，加速推进浮动式风力涡轮机关键理论知识和技术（如复杂空气动力学、流体动力学、优化设计结构、自动控制系统）的研究突破，开发出具有经济竞争力的高性能浮动式风力涡轮机，实现美国海上风能资源价值最大化。本次资助主要关注三大主题，

¹¹Department of Energy Announces \$28 Million for Offshore Wind Energy.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-28-million-offshore-wind-energy>

具体内容参见表 1。

表 1 ATLANTIS 研发项目具体内容

主题	具体内容
全新设计架构	全新的设计方案实现对风力涡轮机的架构进一步优化，进一步减少单位面积质量，实现更高的质量功率比
计算机仿真工具	开发新一代的计算机仿真工具，实现对风力涡轮机动态运行参数的各种仿真，用于指导涡轮机结构的设计优化
海洋环境的保护和监管	开展实验室规模的验证实验以生成一系列真实数据，以验证浮动式涡轮机设计架构效能和计算机仿真工具的有效性

(郭楷模)

DOE 资助 2050 万美元推进锂电池回收再利用事业发展

1 月 17 日，美国能源部（DOE）宣布资助 2050 万美元用于促进锂电池回收再利用事业发展的相关工作¹²，旨在整合国家实验室、大学和私营企业的研究力量，加速推进锂电池关键材料回收再利用技术研发，其目标是将锂离子电池回收率提高到 90%（目前比率不到 5%）。

1、成立锂电池回收再利用研发中心。资助金额为 1500 万美元，由阿贡国家实验室、国家可再生能源实验室以及橡树岭国家实验室合作建立，重点关注具有成本效益的回收再利用工艺研发，以尽可能多地从废旧锂电池中回收和再利用能够广泛使用的高价值关键材料（如钴、锂等）。

2、设立“锂离子电池回收竞赛”奖金。资助金额为 550 万美元，旨在鼓励美国相关企业探索收集、储存和运输废弃的锂离子电池（涵盖电动汽车、消费电子、工业和固定应用领域）创新解决方案，加速从概念原型推进到示范项目，解决电池回收再利用中面临的五大主要挑战（亦是竞赛的五大主题）¹³。

（1）电池收集。开发能激励电池收集的方案，如开发电池回收基础设施或分布式网络，进行社交媒体宣传或设计新的商业模式。

（2）分离和分类。创建材料自动分类和分离系统，比现有技术更快速、准确、成本更低。

（3）安全存储和运输。开发可在存储和运输过程中让电池保持安全或惰性的解决方案，以便下游进一步处理。

（4）逆向物流。设计解决方案以最大限度地降低将电池从最终用户转移到回收设施的成本，平稳回收供应链，并预测物料流动。

（5）其他挑战。设计变革性的概念或解决方案，解决其他挑战，同时促进市场

¹² Energy Department Announces Battery Recycling Prize and Battery Recycling R&D Center. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-battery-recycling-prize-and-battery-recycling-rd-center>

¹³ Department of Energy Lithium-Ion Battery Recycling Prize. <https://americanmadechallenges.org/batteryrecycling/>

创新。

围绕上述挑战，本次竞赛分为三个阶段开展，第一阶段将资助 100 万美元用于概念开发和孵化，第二阶段将资助 250 万美元用于原型设计和合作，第三阶段将资助 200 万美元用于试点验证。

(郭楷模)

前沿与装备

纳米纤维素助力首次实现 3D 打印高性能锂金属微电池

与传统制造相比，3D 打印可以加工更加复杂的结构，可实现个性化、艺术化专属定制，而且材料成本更低。它已被广泛用于制造功能器件，如生物学、电子学，工程复合材料等领域。然而，由于打印锂 (Li) 金属存在困难，目前尚未出现有关于 3D 打印锂金属电池报道。西北大学 Hongli Zhu 教授带领的科研团队借助纳米纤维 (CNF) 首次通过 3D 打印技术构建了高性能微型锂金属电池。高粘度和剪切稀化是 3D 打印油墨所需性能。纤维素是一个理想的油墨替代品。首先，当 CNF 溶解在水中时，每个纤维素分子上的丰富羟基（每个重复单元中的六个）在各个纤维之间以及与水分子之间形成强氢键。这种强大的氢键促进了高保水性（高达 98%），并赋予了独特的粘弹性性能。其次，CNF 作为一种表面活性剂，可以辅助分散在水溶液中的各种其他物质，因为它具有极高的负剪切面电位 (≈ 60 mV)。直接 3D 打印锂金属目前尚无可行的技术方案，因为锂金属具有高反应性并且在室温下以固态存在。但是通过 3D 打印先把 CNF 骨架设计出来，然后将锂金属注入碳化支架中以形成具有高长径比的阳极是完全可行的。基于上述思路，研究人员利用 3D 打印通过两步法分别制备了锂金属负极 (CNF/Li) 和磷酸铁锂正极 (CNF/LFP)。扫描电镜显示 CNF 骨架是多孔结构，使得最终的正负极也是多孔结构，这有利于电极和电解液的充分接触，同时也可以为离子提供传输通道，有助于减少负极表面的局部电流密度，从而成功地抑制了沉积/溶解过程中枝晶的生长。随后分别对 3D 打印的 CNF/LFP 和 CNF/Li 电极的电化学性能进行测试。CNF/LFP 半电池在 0.2C (1C = 170mA g⁻¹) 倍率下首次循环的放电比容量为 140 mAh g⁻¹，随后多次循环容量基本稳定，库伦效率达到了 97.2%。而就 CNF/Li 阳极半电池而言，在 100 mA g⁻¹ 的放电电流下获得了高达 2346 mAh g⁻¹ 放电比容量。上述结果表明了 3D 打印的正负极都具有优异的电化学性能。随后将上述正负极用于组装一个完整的全电池并进行电化学测试，结果显示在 0.2C 倍率下，电池获得了 137 mAh g⁻¹ 放电比容量；而当将倍率提升 50 倍至 10C 时，电池仍可获得 80 mAh g⁻¹ 的高放电容量，且经过 3000 多次循环后容量保持率高达 85%，展现出优秀的高倍率特性和循环稳定性。为了进一步理解 3D 打印电极对电池性能影响，采用密度泛函理论 (DFT) 和相场模型 (PFM) 的

多尺度计算方法来模拟研究锂金属表面锂沉积动力学行为，结果显示具有多孔的 CNF/Li 负极结构确保了电极表面上均匀的电解质分布，保障锂具备了均匀成核位点，确保了锂金属在多孔表面上实现了均匀成核生长，锂离子沉积在孔内并且由于孔径而受限，防止了锂枝晶生长。该项研究借助纳米纤维首次实现了 3D 打印制备锂金属电极，其良好的纳米多孔结构，有效地抑制了锂枝晶的生长，提升了电池性能和循环寿命，为设计开发高性能的锂金属电池提供了全新技术方案。相关研究成果发表在《Advanced Materials》¹⁴。

(周斌 郭楷模)

纳米光子晶体衬底助力钙钛矿 LED 创发光记录

钙钛矿基发光二极管 (LED) 具有制造成本低、光质量高和能效高等优点，是一种极具应用前景的新兴发光技术，引起了广泛关注。但目前为止，钙钛矿 LED 的外量子效率还是不够高，主要原因是钙钛矿 LED 不同功能层材料间较大的折射率差异限制了光子抽取效率。香港科技大学 Zhiyong Fan 教授研究团队在光子晶体 (具有光子带隙特性的人造周期性电介质结构) 衬底上制备了甲胺溴化铅 (MAPbBr₃) 钙钛矿发光 LED，得益于光子晶体衬底大幅提升光子的抽取效率，从而大幅提升器件的外量子效率 (EQE)，达到了 17.5%，创下 Br 卤素器件效率最高值。研究人员首先利用阳极氧化铝模板 (AAO) 生长一层周期性排列的二氧化钛 (TiO₂) 纳米线阵列，随后旋涂制备了 MAPbBr₃ 以及各层功能材料。扫描电镜显示，TiO₂ 纳米阵列大约 3.5 μm 长，直径 120 nm。由于 AAO 模板底部是半圆的穹顶结构，且周期性排列，导致了在此基础上制备的各个功能层 (钙钛矿层、空穴层、电极层等) 都呈现出光子晶体结构的排列。有限元模拟分析发现，传统平面结构的钙钛矿 LED 器件的光子抽取效率仅为 10%，意味着仅有 10% 的发射光能够成功发射，大部分都复合耗散了；相反基于光子晶体结构的 LED 器件光子抽取效率大幅提升 7 倍多，达到了 73.6%；表明采取上述几何结构优化有潜力提升 LED 器件发光性能。对器件进行电压-电流试验测试显示，采用光子晶体结构钙钛矿 LED 器件的短路电流密度较传统平面结构器件大幅提升，其发光强度大幅提升了 1.86 倍。为了探究其增强的潜在机理，研究人员对器件的 EQE 进行测试，结果显示传统平板结构的 EQE 为 9.3%，而光子晶体结构器件的 EQE 效率大幅提升近 2 倍，至 17.5%，是目前已报道的 Br 卤素钙钛矿 LED 器件的最高值。研究人员通过理论模型分析得出，上述发光效率增强主要得益于纳米光子基底的两步光提取过程，首先周期性排列的纳米穹顶电极作光耦合器，将发射光聚焦到 TiO₂ 纳米线阵列光子晶体中，然后纳米线光子晶体充当光学天线将光高效地传播出去，即聚焦和传输两个过程实现了对光提取的优化。该项研究通过

¹⁴Daxian Cao, Yingjie Xing, Karnpiwat Tantratian, et al. 3D Printed High-Performance Lithium Metal Microbatteries Enabled by Nanocellulose. *Advanced Materials*, 2019, DOI: 10.1002/adma.201807313

设计独特的光子晶体衬底，有效地克服了不同功能层折射率差异问题，显著提升了钙钛矿 LED 器件的光子抽取效率，从而增强了器件的外量子效率。为设计开发高效钙钛矿 LED 指明了新路径。相关研究成果发表在《*Nature Communications*》¹⁵。

(郭楷模)

BF₄⁻阴离子替代掺杂显著改善钙钛矿太阳能电池性能

通过调节钙钛矿薄膜组分能够实现对钙钛矿薄膜形貌、晶形、缺陷浓度、光电性能的调谐，是改善钙钛矿薄膜性能的关键手段之一。目前已报道的元素组分替代改性工作主要集中在阳离子替代掺杂，鲜有阴离子报道。香港城市大学 D. P. Fenning 教授研究团队联合美国华盛顿大学研究人员首次报道了四氟硼酸根 (BF₄⁻) 阴离子部分替代掺杂的改性，有效地改善了钙钛矿薄膜缺陷、载流子寿命和传输，从而大幅提升电池性能，获得了高达 20.16% 的转换效率。研究人员采用抗溶剂法一步旋涂制备了混合离子的钙钛矿薄膜 (FAPbI₃)_{0.83} (MAPbBr₃)_{0.17}，同时还通过在前驱体中加入氟硼酸铵 (NH₄BF₄) 制备了 BF₄⁻ 替代掺杂的混合离子钙钛矿薄膜。扫描电镜表征显示，与原始的钙钛矿薄膜相比，BF₄⁻ 替代掺杂的钙钛矿薄膜形貌更加均匀，且晶粒尺寸增加；X 射线衍射测试发现，BF₄⁻ 替代掺杂的钙钛矿薄膜中碘化铅 (PbI₂) 特征峰强度减弱，意味钙钛矿结晶性更好；上述结果表明 BF₄⁻ 替代掺杂改善了薄膜的成膜质量，主要原因是 BF₄⁻ 引入减缓了薄膜结晶速度，从而可以使得晶粒能够有更多时间成核长大。大粒径高结晶性的薄膜有助于减少晶界和缺陷，有助于提升薄膜及其器件光电性能。时间相关的光致发光谱显示，BF₄⁻ 替代掺杂后钙钛矿薄膜的光谱强度增强表明其非辐射复合受到了抑制，载流子的寿命得到了延长。接着，研究人员以上述钙钛矿薄膜为光敏层制备了钙钛矿电池器件，并开展了电化学性能测试。实验结果显示，基于无 BF₄⁻ 替代掺杂钙钛矿薄膜电池光电转换效率为 17.55%，而 BF₄⁻ 替代掺杂的电池转换效率大幅提升至 20.16%，这是目前已报道阴离子替代掺杂钙钛矿太阳能电池效率最高值。性能提升主要原因是开路电压和填充因子增长，根本原因在于 BF₄⁻ 替代掺杂抑制了非辐射复合和减少了缺陷态密度。电化学阻抗谱显示，BF₄⁻ 替代掺杂钙钛矿太阳能电池的复合阻抗显著增大，即其非辐射复合被显著抑制，再次印证了上述结果。长程稳定性测试显示，在连续光照 300 小时后，无 BF₄⁻ 钙钛矿太阳能电池效率衰减至初始值的 56.7%，而 BF₄⁻ 替代掺杂电池仍可保持初始效率的 86%，表现出了更加优异的稳定性。该项研究通过阴离子部分替代掺杂改善了钙钛矿薄膜的结晶性，减少了缺陷浓度抑制了非辐射复合，从而显著增强了电池性能，表明了阴离子替代掺杂方法也是改善电池性能的一种关键方法，为改善钙钛矿

¹⁵ Qianpeng Zhang, Mohammad Mahdi Tavakoli, Leilei Gu, et al. Efficient metal halide perovskite light-emitting diodes with significantly improved light extraction on nanophotonic substrates. *Nature Communications*, 2019, DOI: 10.1038/s41467-019-08561-y

太阳能电池性能提供了新解决方案。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》¹⁶。

(郭楷模)

二维金属有机骨架平台促进可见光驱动高效分解水制氢

开发高效廉价稳定的光催化剂是光解水制氢研究的前沿领域。二维(2D)金属有机骨架(MOF)由于具有稳定纳米光催化剂并阻碍其聚集功能的大表面积,能够与光催化剂形成异质结以加速光诱导电子和空穴的分离和迁移,并具有促进光催化中表面氧化还原反应的大量活性中心等特性,有助于提升催化剂催化活性。这些突出的优点使得2D MOF在光催化应用方面具有很好前景。澳大利亚阿德莱德大学Shi-Zhang Qiao教授课题组设计制备了一种负载于2D MOF上的硫化镉(CdS)纳米催化剂,大幅增强了可见光驱动的光解水催化活性,获得了 $45201 \mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}$ 超高产氢效率,表明了2D MOF可以作为优秀的催化剂骨架平台。研究人员首先通过水热法合成3D MOF骨架平台,接着通过在乙醇环境下超声剥离得到2D MOF纳米片并将其溶解于乙醇溶液中。随后将CdS纳米颗粒(NPs)与2D MOF纳米片乙醇溶液(溶液中MOF纳米片浓度可调谐)混合制成了负载于2D MOF骨架的CdS NPs催化剂(CdS-2D MOF)。透射电镜表征显示CdS NPs均匀地分布在2D MOF骨架上,平均粒径40 nm左右。为了对比研究,研究人员也制备了无骨架的CdS NPs催化剂。在可见光照射(波长大于420 nm)下,18%体积分数的乳酸环境中表征光催化产氢性能。实验结果显示,纯CdS NPs的光催化产氢效率仅为 $5459 \mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}$ 。而当引入2D MOF骨架后,其催化产氢效率就显著提升,且随着引入的2D MOF量增加而增强:当引入量为1%质量分数时(为MOF纳米片与CdS质量比),其光催化产氢效率提高到 $15837 \mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}$;而进一步提高2D MOF NS含量至2.58%,其光催化产氢效率提升至惊人的 $45201 \mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}$,其活性比负载同样质量比(2.58%)的商用铂颗粒的Pt/CdS催化剂活性提高了185%。为了探究催化性能增强的潜在机理,研究人员开展一系列的微结构表征和理论计算。氮气脱吸附测试显示2D MOF具有较大的比表面积,为催化反应提供了更多的活性位点;电化学阻抗谱测试揭示,CdS-2D MOF的电子传输阻抗较纯CdS大幅减小,稳态光致发光谱也减弱,表明了CdS-2D MOF催化剂电子和空穴分离和传输效率增强;理论计算则表明CdS和2D MOF带隙结构匹配度较好,且两者之间存在强的电子耦合作用,促进了电子空穴的分离。上述各种改善协同作用最终大幅增强了CdS-2D MOF光催化活性。该项研究设计制备了一种新型的负载在2D金属有机框架衬底上的CdS催化剂,得益于2D MOF的高表面积、与CdS较好的带隙匹配度和强电子耦合作用的多重优点协同作用,

¹⁶ Jie Zhang, Shengfan Wu, Tiantian Liu, et al. Boosting Photovoltaic Performance for Lead Halide Perovskites Solar Cells with BF₄⁻ Anion Substitutions. *Advanced Functional Materials*, 2019, DOI: 10.1002/adfm.201808833

大幅增强了可见光驱动的光解水产氢性能，为设计开发高效廉价非金属催化剂指明了新方向。相关研究工作发表在《*Advanced energy Materials*》¹⁷。

(刘竞 郭楷模)

¹⁷ Jingrun Ran, Jiangtao Qu, Hongping Zhang, et al. 2D Metal Organic Framework Nanosheet: A Universal Platform Promoting Highly Efficient Visible-Light-Induced Hydrogen Production. *Advanced energy Materials*, 2019, DOI: 10.1002/aenm.201803402

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

