

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IRENA：2018 年全球可再生能源累计装机突破 2300 GW
- 欧盟提出应对能源网络安全挑战三大战略建议
- 特朗普政府公布 2020 财年预算纲要 能源部预算 317 亿美元
- DOE 公布 2019 财年先进车辆技术研发项目资助公告
- 基于机器学习技术开发电池寿命精确预测模型

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

IRENA: 2018 年全球可再生能源累计装机突破 2300 GW2
欧盟提出应对能源网络安全挑战三大战略建议4
特朗普政府公布 2020 财年预算纲要 能源部预算 317 亿美元5

项目计划

DOE 资助 8730 万美元支持先进燃煤发电技术研发7
DOE 资助 5000 万美元加速推进 CCUS 技术突破和部署8
DOE 资助 5900 万美元支持先进车辆技术研发9

前沿与装备

基于机器学习技术开发电池寿命精确预测模型10
嵌入转化正极助力锂硫电池质量和体积能量密度双提升11
非贵金属分子催化剂电极实现 CO₂ 到 CO 高效稳定还原12
可充电水溶液铁金属电池展现良好经济性和应用潜力13

本期概要

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布《可再生能源装机容量统计数据 2019》报告，系统分析了 2018 年全球可再生能源装机发展态势：2018 年全球可再生能源发电装机容量增长了 171 GW，同比增幅 7.9%，延续了过去十年以来的强劲增长态势。就地区而言，亚洲地区是可再生能源新增装机容量增幅最大的区域，新增 105 GW，占全球新增总量的 61%。欧洲、北美和南美地区分别以新增装机 24 GW、19 GW 和 9.4 GW 分列二到四位。同期，大洋洲、欧亚大陆、中东、中美洲及加勒比海地区的可再生能源也取得良好的发展，分别新增装机容量 4.8 GW、4.1GW、1.3 GW 和 0.8GW。就资源类型而言，2018 年太阳能以 94 GW（同比增长 24%）新增装机容量再次领跑新增装机容量排行榜。其次为风能，新增装机容量 49 GW，同比增长 10%。水电和生物质能装机容量分别增长 21 GW（+2%）和 6 GW（+5%）。同期，地热能新增装机容量 500 MW。总体而言，2018 年近三分之二的新增装机容量来自于可再生能源，强劲的增长趋势再次印证了可再生能源作为全球能源转型关键驱动力。

欧盟委员会发布《能源领域网络安全问题建议书》报告，提出了应对能源网络风险的三大战略性建议，包括：（1）采取合适的网络安全措施确保能源基础设施安全运行；（2）避免级联效应，即实施的网络安全防御措施应该考量能源网络某节点失效引发的级联效应。（3）制定的措施统筹考虑传统技术（旧技术，设计使用寿命 30 到 60 年，且未考虑网络安全问题）和先进技术（充分考虑了网络安全挑战的技术，如智能器件、传感器等），推进能源网络化发展。详见正文。

美国总统特朗普公布 2019 财年联邦政府 4.7 万亿美元的预算纲要，其中提议的美国能源部 (DOE) 经费预算总额为 317 亿美元：DOE 基础科学研究预算为 55 亿美元，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、人工智能 (AI) 和机器学习研究等；能源创新研发相关计划的预算为 23 亿美元，重点开展先进能源储存新技术、开发新型的热电材料和传感器、建立一个强大的尤卡山核废料地质贮存库等研究工作；国家安全相关能源技术研发的预算为 237 亿美元，聚焦核武库现代化事业、防核不扩散事业发展和强化核反恐和应急响应能力等。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 8730 万美元用于支持先进煤炭燃烧技术研发项目，关注六大技术主题，包括：提高燃煤锅炉的汽轮机性能、用于监测深层地下环境的先进传感系统、燃煤电厂交叉技术、先进材料、研发从煤基资源中回收稀土元素和关键材料的技术，以提升发电效率，减少排放。详见正文

美国能源部 (DOE) 公布了一份价值 5900 万美元的 2019 财年先进车辆研发资助公告，主要聚焦五大技术领域：新型固态电池技术、先进电动机、高能效交通系统、燃料和发动机协同优化、高效动力系统、替代燃料及其基础设施。旨在加提升汽车能效和电气化水平，减少温室气体排放。详见正文。

麻省理工学院 Richard D. Braatz 教授课题组牵头的联合研究团队在收集了 124 个电池组不同使用寿命的数据基础上，利用机器学习开发了全新的电池寿命预测模型：该模型实现了对商业化磷酸铁锂/石墨全电池的使用寿命高达 95.1% 的预测准确度，对电池技术快速发展具有重大指导意义。

IRENA：2018 年全球可再生能源累计装机突破 2300 GW

4 月 2 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《可再生能源装机容量统计数据 2019》报告¹指出，2018 年全球可再生能源发电装机容量增长了 171 GW，同比增长 7.9%，延续了过去十年以来的强劲增长态势。截至 2018 年底，全球可再生能源累计装机容量达到 2351 GW，占全球发电装机总容量的三分之一。其中，水电累计装机容量达 1172 GW，占比最高，为 50%；风能和太阳能占据其余主要份额，装机容量分别为 564 GW（占比 24%）和 486 GW（20%）；剩余 6% 份额的可再生能源主要包括：生物质能 115 GW、地热能 13 GW 和海洋能（潮汐、波浪能等）500 MW。

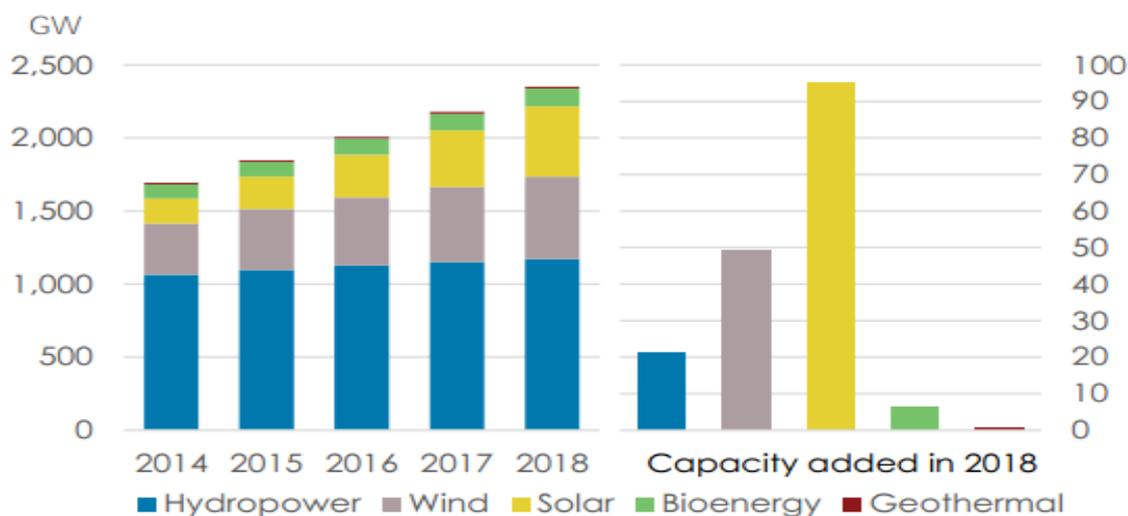
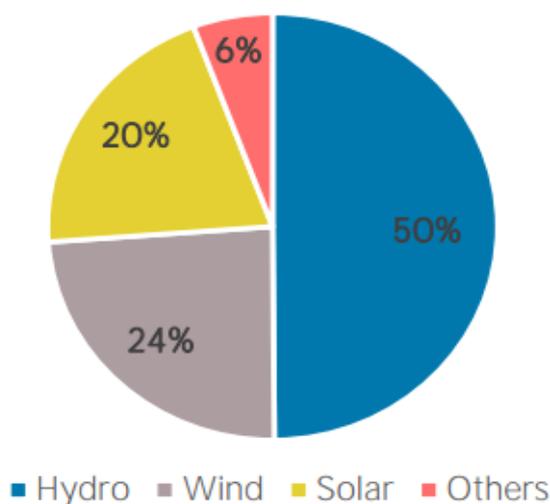


图 1 2014-2018 年全球可再生能源装机量变化态势（单位：GW）



¹ Renewable Energy Now Accounts for a Third of Global Power Capacity.
<https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/Apr/Renewable-Energy-Now-Accounts-for-a-Third-of-Global-Power-Capacity>

图 2 截至 2018 年底全球不同可再生能源装机量占比

2018 年，太阳能以 94 GW（同比增长 24%）新增装机容量再次领跑新增装机容量排行榜。其次为风能，新增装机容量 49 GW，同比增长 10%。水电和生物质能装机容量分别增长 21 GW（+2%）和 6 GW（+5%）。同期，地热能新增装机容量 500 MW。

统计数据显示，2018 年尽管全球各地区增速不同，但可再生能源电力装机容量在全球各地区都有所增长。亚洲地区可再生能源新增装机容量最多，为 105 GW，占全球新增总量的 61%，增幅达 11.4%。欧洲紧随其后，新增装机 24 GW，同比增长 4.6%。北美和南美地区分别以 19 GW（+5.4%）和 9.4 GW（+4.7%）位列三、四位。同期，大洋洲、欧亚大陆、中东、中美洲及加勒比海地区的可再生能源也取得良好的发展，分别新增装机容量 4.8 GW（+17.7%）、4.1 GW（+4.3%）、1.3 GW（+7.1%）和 0.8 GW（+5.5%）。总体而言，2018 年近三分之二的新增装机容量来自于可再生能源，这一强劲的增长趋势再次印证了可再生能源作为全球能源转型的关键驱动力。2018 年主要的可再生能源发电新增装机容量情况如下：

1、水电

2018 年，水电增长继续放缓，新增装机容量仅为 21 GW，低于 2017 年的增幅（27 GW）。主要的增长来自中国和巴西，两国合计新增 12.3 GW，占有新增水电装机容量的近三分之二。

2、风电

2018 年全球风电新增装机 49 GW，使得全球累计风电装机达 564 GW。其中主要的增长来自中国（20 GW）和美国（7 GW），两国合计贡献了 55% 的风电新增装机。其他新增装机超过 1 GW 的国家是：巴西、法国、德国、印度和英国。

3、生物质发电

2018 年，生物质发电新增装机 5.7 GW，同比增长 5%。主要是由中国（2 GW）、印度（0.7 GW）和英国（0.9 GW）三个国家的增长带动，三国合计占到新增装机的一半以上。

4、太阳能发电

2018 年全球太阳能发电装机容量增加了 94 GW，同比增长 24%。其中近 70% 的新增装机来自亚洲地区（64 GW），强劲的增长让该地区继续领跑全球太阳能新增装机容量排行榜。该地区强劲的增长主要由四个国家引领：中国 45 GW（同比增长 34%）、印度 9.8 GW（+60%）、日本 6.5 GW（+13%）和韩国 2 GW（+34%），四个国家的累计新增光伏装机量已达到 63.3 GW，占亚洲整体新增装机量的 99%。同期新增装机容量超过 1 GW 的国家有美国（8.4 GW）、澳大利亚（3.8 GW）、德国（3.6 GW）、墨西哥（1.8 GW）、荷兰（1.2 GW）和巴西（1.2 GW）。

5、地热发电

2018 年地热发电新增装机容量 539MW，主要的增长动力来自土耳其（+219 MW）、印度尼西亚（+137 MW）、美国（+58 MW）、墨西哥（+25 MW）和新西兰（+25 MW）。

（谢帅 郭楷模）

欧盟提出应对能源网络安全挑战三大战略建议

4 月 3 日，欧盟委员会发布《能源领域网络安全问题建议书》报告²指出，伴随能源系统和数字技术愈加深度的融合，全球能源系统将变得更加高效互联智能化，将为社会提供更加经济高效的能源服务。但伴随能源系统数字化程度加深，其潜在的网络安全危险也会增加，预警防范和应对网络威胁将是能源数字化发展必须高度重视的优先事项。为了应对日益严峻的网络安全挑战，确保欧盟能源数字化的健康发展，报告提出了应对能源网络风险的三大战略性建议，具体内容如下：

1、采取合适的网络安全措施确保能源基础设施安全运行

（1）欧盟各成员国应确保数字化能源系统所有的利益相关方，特别是能源网络运营商和技术供应商，以及被《欧盟网络和信息系統安全指令》（简称 NISD）定义为“基础服务运营商”的机构，都要实施相关的网络安全措施（实时通信系统、实时数据处理系统、实时检测、预报发布系统等），以确保数字能源系统实时安全正常运行需求。能源系统的某些设施需要在“实时”条件下工作，这意味着系统需要在几毫秒内对网络指令做出反应，因此需要实时的网络管理措施，即能够对网络的运行状况进行动态监测并及时发现网络安全威胁。

（2）就新安装的能源网络设施，能源网络运营商应该采用最新的网络安全标准，同时引入互补的物理安全措施，来保障网络安全机制没有覆盖到的老旧能源设施的安全。能源网络运营商的产品想要上市销售，要确保产品满足国际安全实时通讯要求的网络安全标准和相应的技术指标。网络运营商应考虑确保特定的带宽分配，尽可能减少延迟和保障通信安全。将整个能源网络系统划分为数个逻辑区域并在每个区域内对访问时间和权限等进行限制，以便相应的网络安全措施能够起到保护作用。运营商应该采用安全的通信协议和恰当的机器对机器的通信认证机制来确保系统的安全实时运行需求。

2、避免级联效应

（1）欧盟各成员国应确保数字化能源系统所有的利益相关方，特别是能源网络运营商和技术供应商，以及被 NISD 定义为“基础服务运营商”的机构，实施的网

²Tackling cybersecurity challenges in energy: Commission adopts recommendation on cybersecurity in the energy sector.

https://ec.europa.eu/info/news/tackling-cybersecurity-challenges-energy-commission-adopts-recommendation-cybersecurity-energy-sector-2019-apr-03_en

络安全防御措施能够充分考虑能源网络某节点失效引发的级联效应³。

(2) 各成员国应评估发电系统、输配电变电站和线路以及相关的利益相关方在网络攻击发生时的相互依赖性和所起到的关键作用。成员国还应确保能源网络运营商与所有的利益相关方建立沟通框架,共享预警信号,并在危机管理方面开展合作。成员国之间应建立结构化的沟通渠道,以便与所有利益相关方、计算机安全事件应对团队和相关机构及时共享信息。

(3) 能源网络运营商应确保包括物联网设备在内的新联网能源设备具有与其关键作用相适应的网络安全水平。针对灵活性电网建立全新的设计标准和架构,根据电网各个环节的关键程度,为每个环节制定全面的防御措施。与其他相关运营商和技术供应商合作,通过采用适当的措施和服务来防止某个节点的网络安全事件引起连锁效应。设计和建设通信和控制网络,以便将任何物理和逻辑故障的影响限制在网络的有限部分,并确保采取充分和迅速的缓解措施。

3、网络安全问题需要统筹考虑传统技术和先进技术

(1) 欧盟各成员国应确保数字化能源系统所有的利益相关方,特别是能源网络运营商和技术供应商,以及被 NISD 定义为“基础服务运营商”的机构,都要实施相关的网络安全措施,这些措施要求全面考虑传统技术(旧技术,设计使用寿命 30 到 60 年,且未考虑网络安全问题)和先进技术(充分考虑了网络安全挑战的技术,如智能器件、传感器等),推进能源网络化发展。

(2) 欧盟各成员国应鼓励能源网络运营商和技术供应商尽可能在旗下的各个产品线采用国际网络安全标准。技术供应商应在发现相关网络安全问题时,为传统技术或新技术中的安全问题免费提供经过测试的解决方案。此外,消费者需要依据标准以安全方式来使用相关的能源服务。

(3) 能源网络供应商应该认真分析将传统能源基础设施和物联网技术结合起来的潜在风险,并了解内、外部接口特性及其脆弱性。采取积极的措施应对由恶意软件造成的大规模网络瘫痪问题。定期对所有联网的传统能源设施进行具体的网络安全风险分析。及时将与物联网技术结合的传统能源基础设施的硬件和软件更新。投标书应该充分考量网络安全问题,即标书要详细提供关于安全特征的信息,同时满足现有的网络安全标准,并明确表明供应商在网络攻击事件中的责任。

(于小燕 郭楷模)

特朗普政府公布 2020 财年预算纲要 能源部预算 317 亿美元

3 月 11 日,美国总统特朗普公布了 2020 财年联邦政府 4.7 万亿美元的预算纲要⁴,其中提议的美国能源部(DOE)预算总额为 317 亿美元,较 2019 年预算纲要增

³ 级联效应是由一个动作影响系统而导致一系列意外事件发生的效应

⁴ FISCAL YEAR 2020 BUDGET OF THE U.S. GOVERNMENT.

加 11 亿美元，旨在通过对能源科技创新投资，强化美国能源技术的全球领先地位，促进美国能源独立，保障美国人民获得经济、可靠的能源，促进国家安全和经济持续增长。预算中近 75% 的资金将用于应对国家安全和核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，推进核安全事业现代化以及加强能源基础设施的网络安全。具体内容如下⁵：

1、能源创新研发相关计划的预算为 23 亿美元，用于支持国家实验室开展颠覆性能源技术研发，以实现新一代能源技术的突破和部署，助力美国构建一个更加弹性、安全的现代化能源系统，推进美国能源独立。主要包括：

(1) 总计为能源效率和可再生能源办公室（3.53 亿）、化石能源办公室（5.62 亿）和核能办公室（8.24 亿）三大业务部门提供超过 17 亿美元资金，重点资助早期的新型能源技术研发，主要包括先进能源储存新技术，以提升电网灵活性和保障电网运行稳定性；开发新型的热电材料、传感器，基于先进高效低排放电厂建设工艺建造高效热电转化电厂，将核电站的热能高效回收利用。

(2) 为尤卡山核废料处理贮存库提供 1.16 亿美元，重启尤卡山核废料处理贮存库建设许可审批，建立一个强大的尤卡山地质贮存库项目和临时贮存项目，以安全处置乏燃料。

2、DOE 基础科学研究和大型科技基础设施建设运维的预算为 55 亿美元，持续推进能源前沿研究、国家实验室基础设施完善和大型科技基础设施的建造和运维工作。预算的重点包括：

(1) 5 亿美元用于建造百亿亿次超级计算机，以确保美国在超级计算领域的全球领导地位。

(2) 1.68 亿美元用于量子信息科学研究，探究量子计算机的工作原理，开发出超越经典计算机的量子计算机。

(3) 7100 万美元用于人工智能（AI）和机器学习研究，以提高 AI 和大数据技术的安全性、可靠性。

(4) 2500 万美元用于加强材料和化学基础研究，以支持美国在微电子领域的领导地位。

(5) 其余大量资金将用于大型科技基础设施平台的升级和建造工作，包括 1.18 亿美元用于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。1 亿美元用于先进实验快堆建造工作，加速推进美国下一代先进快堆商业化进程。500 万美元用于一项新的电网存储启动平台计划，支持实验室级别的电网规模电池测试中心建设。1500 万美元用于加速将国家风电测试设施平台改造为实

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/03/budget-fy2020.pdf>

⁵ Department of Energy FY 2020 Budget Request Fact Sheet.

<https://www.energy.gov/articles/department-energy-fy-2020-budget-request-fact-sheet>

实验室规模的微网平台，用以测试兆瓦级别风电装置性能。

3、国家安全相关技术研发的预算为 237 亿美元，主要用于 DOE 下辖的国家核安全管理局（NNSA）、环境管理办公室（EM）和网络安全、能源安全及应急响应办公室（CESER）开展相关研究活动。主要包括：

（1）NNSA 获得 165 亿美元预算，较 2019 年上涨了 14 亿美元，主要预算内容包括：80 亿美元用于推进美国核武库现代化事业；2 亿美元用于改造升级老化核武库基础设施；12 亿美元用于物理安全、信息技术、网络安全以及其他对 NNSA 核安全事业有支持作用的一系列技术研发工作；16 亿美元用于防核扩散事业发展；4 亿美元用于强化核反恐和应急响应能力；16 亿美元用于支持海洋舰艇的安全、高效核动力推进系统研究，如哥伦比亚级弹道导弹潜艇的核动力反应堆系统、海军乏燃料处理基础设施等。

（2）EM 获得 65 亿美元预算，主要用于能源部（DOE）下属的分布在 11 个州 16 个场地的核废料清理工作，应对核武器生产中的放射性废物和污染挑战，支持核安全现代化事业。

（3）核遗产管理办公室（LM）预算 3.03 亿美元，其中 1.41 亿美元用于将场址使用补救方案的管理权限从美国陆军工程兵团转移到 LM 的改革事业。

（4）CESER 办公室获得 1.57 亿美元，比 2019 财年预算增加了 6100 万美元，主要用来支持该办公室指导企业，提升美国关键基础设施运营能力，以应对美国电网及其他关键能源基础设施所面临的网络安全威胁。

此外，预算案还提出取消浪费或重复的计划，包括创新技术贷款担保计划、先进技术车辆制造贷款计划和部落能源贷款担保计划。为进一步实现财政纪律及减低纳税人风险，预算案建议免除西部地区电力管理局为输电建设项目提供资金的借贷权。为了高效地使用纳税人资金，预算案还提议取消先进能源研究计划署（ARPA-E），将其整合到 DOE 的各项应用能源研究计划中。

（于小燕 郭楷模 岳芳）

项目计划

DOE 资助 8730 万美元支持先进燃煤发电技术研发

4 月 10 日，美国能源部（DOE）宣布资助 8730 万美元用于支持先进煤炭燃烧技术研发项目⁶，旨在推进煤炭燃烧技术的研发突破，提升燃煤电厂的发电效率，为消费者提供稳定、高效、低排放和低成本的电力服务。本次资助着重关注五大技术

⁶ Department of Energy Announces \$87 Million for Coal Research and Development Projects.
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-87-million-coal-research-and-development-projects>

主题，具体内容如参见表 1。

表 1 先进燃煤发电技术研发项目具体内容

技术主题	具体内容	资助金额/ 万美元
提高燃煤锅炉的汽轮机性能	研发先进的汽轮机动力循环技术，提高蒸汽动力循环的性能，从而降低电力成本，降低燃煤锅炉排放，完成一个 50-350 MW 发电容量的蒸汽轮机概念工程设计	2200
用于监测深层地下环境的先进传感系统	开发先进的传感器系统，用于监测二氧化碳封存的地下地质环境状态，确保二氧化碳地质封存场址安全性，减少环境风险	480
燃煤电厂交叉技术	利用先进的交叉技术（如自动化控制技术、高精度计算机仿真技术等），提高现有和未来燃煤电厂的性能和经济效益，从而降低发电成本和消费者的电力支出	1450
先进材料	针对超超临界电厂研发先进的电厂组件和材料，提高先进超超临界电厂所用材料的性能和循环耐久性，从而提高燃煤电厂的发电效率和可靠性	2600
研发从煤基资源中回收稀土元素和关键材料的技术	通过对传统萃取、分离和回收工艺优化升级以及全新的技术研发，促进从煤基资源中回收稀土和关键材料的技术进步，提升回收效率	2000

（谢帅 郭楷模）

DOE 资助 5000 万美元加速推进 CCUS 技术突破和部署

近期，美国能源部（DOE）在“碳捕集计划”框架下宣布投入 5000 万美元，以推进碳捕集、利用与封存（CCUS）技术研发，以加快商业部署。其中，3000 万美元用于推进碳捕集系统的前端工程设计（FEED）研究⁷，以降低 CCUS 系统的部署成本；2000 万美元用于支持 CCUS 技术研发突破⁸，确定和解决 CCUS 技术发展面临的区域封存和运输挑战。具体内容如下：

一、燃煤和天然气发电厂碳捕集系统 FEED 研究（3000 万美元）

1、现有碳捕集燃煤电厂改造的 FEED 研究。基于技术成熟度（TRL）超过 6 级的碳捕集系统技术，改造现有 150 MWe 以上的燃煤电厂碳捕集系统的 FEED 研究，包括：烟气预处理系统、吸收装置、压缩系统及其他需集成的设备。

2、新建或现有（改造）燃气电厂或新建燃煤电厂的商业规模碳捕集装置的 FEED 研究。基于 TRL 超过 6 级的碳捕集系统技术，在新建燃煤电厂（150 MWe 以上）或新建/现有（改造）天然气发电厂（375 MWe 以上）安装碳捕集系统的 FEED 研究，

⁷ U.S. Department of Energy Announces \$30 Million for Front-End Engineering Design Studies for Carbon Capture Systems.
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-30-million-front-end-engineering-design-studies-carbon>

⁸ DOE Announces \$20 Million for a Regional Initiative to Accelerate Carbon Capture, Utilization, and Storage.
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-20-million-regional-initiative-accelerate-carbon-capture-utilization-and>

包括：烟气预处理系统、吸收装置、压缩系统及其他需集成的设备。

3、产生用于利用或封存的二氧化碳的燃煤或燃气电厂的二氧化碳净化和压缩系统的 FEED 研究。包括：二氧化碳净化系统、压缩系统及其他需集成的设备。

二、确定和解决 CCUS 部署的区域封存和运输挑战（2000 万美元）

1、解决关键技术挑战。包括：扩展对封存库（盐水强化采油）的特征描述，以减少对储层和盖层特性以及地质结构的不确定性；整合和验证优化封存并提高羽流位置、压力前沿范围、羽流稳定性预测准确性的关键技术；与工业伙伴合作在强化采油作业中封存二氧化碳，在盐水层或其他类型储层中进行封存，检测羽流运动和验证地质储层中的二氧化碳封存；开发和验证商业规模封存场所的风险评估、风险管理和缓解策略

2、促进数据收集、共享和分析。包括：与国家实验室合作，通过数据共享和协作加速关键技术开发；对国家风险评估伙伴关系（NRAP）工具包进行现场验证；参与 DOE 的新机器学习（ML）计划。

3、评估区域基础设施。包括：评估当前的二氧化碳区域运输和分配基础设施，并对基础设施建设方案进行技术经济分析，以确定最佳/可行的分配网络；确定扩大区域基础设施规模所需解决的关键问题及进行准备需具备的要素；评估 CCUS 项目的社会经济影响；建立社会和行业支持，完善区域输运及分配网络，确定商业可行的新 CCUS 项目。

4、促进区域技术转让。包括：解决许可和基础设施发展战略等非技术挑战；促进区域技术转让和传播通过区域碳封存合作伙伴关系（RCSP）及其他国际项目获得的知识，在全球部署 CCUS 方面发挥领导作用；通过在盐水储层以及强化采油作业的相关储层中封存二氧化碳的商业案例，支持新的税收政策；为 DOE 提供一般性支持，如提供项目交流材料、参加研讨会等，以缩小 CCUS 技术发展存在的知识差距。

（岳芳）

DOE 资助 5900 万美元支持先进车辆技术研发

4 月 3 日，美国能源部（DOE）公布了一份 5900 万美元的 2019 财年先进车辆技术研发资助公告⁹，旨在加速推先进车辆技术（如先进电池技术、电驱动技术、燃料-发动机协同优化技术等）的研发突破，提升汽车能效和电气化水平，节约能源成本支出，减少交通运输系统的温室气体排放。本次资助着重关注五大技术主题，具体内容参见表 1。

表 1 2019 财年先进车辆技术研发资助项目具体内容

⁹ DOE Announces \$59 Million to Accelerate Advanced Vehicle Technologies Research.
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-59-million-accelerate-advanced-vehicle-technologies-research>

技术主题	具体内容	资助金额/ 万美元
新型固态电池技术	<ul style="list-style-type: none"> •研发新型的高机械柔韧性、高导电性、高离子迁移率、低成本固态电解质,提高全固态电池的能量密度(大于 350 Wh/kg)和循环寿命(循环千次容量衰减小于 20%),同时降低电池成本(小于 100 美元/kWh) •固态电池的新型诊断工具开发,包括原位和非原位的高精度显微镜、光谱成像技术等,以有效地诊断、预测电池充放电循环过程的物理化学变化,用于指导电池开发 •开发先进的电池模型,模拟电池循环过程,以更深入了解电池的充放电过程的电化学反应机理(如热力学过程、相转变、离子传输机制等) 	1250
先进电动机	利用新技术(如 3D 打印)开发新型高性能低成本的电动机材料(如超导材料、不锈钢、磁性材料等),并研究新的设计架构,将电动驱动系统的功率密度提升 8 倍达到 125 kW,并将成本减少一半至 6 美元/kW,寿命达到 30 万英里	350
高能效的交通系统	利用先进的传感器、互联网、人工智能和自动化技术,改善交通运输系统的输运效率减少堵塞和能耗,提升经济性、安全性,减少事故	700
发动机和燃料的协同优化	提高当前高性能计算系统的多模式燃烧模拟模型的准确性、运行速度和预测精度,推进发动机和燃料的协同优化,实现更加高效地燃烧,减少能耗和排放	350
高效动力系统	开发新材料(如轻量化材料)、新发动机技术(如先进的燃烧技术、全新的发动机架构),减少发动机质量,提升燃烧效率,改善燃油经济性(中型汽车和卡车发动机质量均设定减少 15%目标,前者燃油经济性要提升 23%,后者提升 10%)	1500
替代燃料车辆及其基础设施	开展替代燃料(如天然气、丙烷、电力、氢气等)车辆技术的研究以及部署配套的基础设施,开展原型车辆的示范工作,探索全新的高效低排放交通技术方案	1750

(谢帅 郭楷模)

前沿与装备

基于机器学习技术开发电池寿命精确预测模型

如何利用电池早期循环数据,实现对电池循环寿命预测的及时性、准确性一直是传统电池寿命预测研究中的难点。而将机器学习、大数据分析等先进数据分析技术引入电池寿命预测,将会更快、更及时、更准确地实现电池寿命预测,从而推动电池技术的快速发展。麻省理工学院的 Richard D. Braatz 教授课题组和劳伦斯伯克利国家实验室研究人员进行合作,在收集了 124 个电池组不同使用寿命的数据基础

上，利用机器学习开发了全新的电池寿命预测模型，实现了对商业化的磷酸铁锂/石墨（LFP/Graphite）全电池的使用寿命更高精度的预测。由于电池的衰减过程是一个复杂的非线性过程，涉及很多参数（数据），因此要建立高精度预测模型就必须考量这一系列数据，即建立一个多参数高纬度预测模型，这意味着建立模型需要大量的数据基础。为此，研究人员使用商业化的 LFP/Graphite 全电池（代号 A123，APR18650M1A，额定容量为 1.1Ah）进行一系列电化学性能测试：在 30°C 温度下，使用不同的快速充放电条件（改变不同的充放电倍率）对电池进行循环测试，获得了大量的电池循环寿命基础数据信息（全电压曲线、电池阻抗以及电池工作温度等），循环寿命范围在 150 到 2300 圈之间，总计获得 96700 圈的电池数据，是目前已报道的文献中最大的商业化电池循环数据集。基于上述大量数据，作者使用机器学习方法开发了全新的电池寿命早期预测模型，模型主要建立放电容量与电压曲线的特征参数之间的关系（将电池容量视为电压函数）来预测电池的循环寿命。依据对数据不同处理方式，形成三种模型，分别是：（1）方差模型（Variance）；（2）放电模型（Discharge）；（3）引入温度、阻抗等额外参数数据全模型（Full）。在随后的所有的预测模型中，都只使用电池前一百次的循环数据。在 Variance 模型中，在主数据集上存在 15% 的平均百分比误差，在辅助数据集上存在 11% 的平均百分比误差；Discharge 模型还考虑了前一百次循环的放电电压和电流信息，将误差分别降低到 10.1% 以及 8.6%；Full 模型综合考虑了放电过程中的各种可采集的数据信息，将误差分别降到了 7.5% 和 10.7%，与其他的文献报道的预测模型相比，预测精度提高了 25%。为了满足锂电池的生产需求（需要对电池进行循环寿命更加快速可靠分析），研究人员进一步设计了基于前 5 次电池循环数据的寿命预测模型。实验结果显示，Variance 方差模型预测精度可以达到 88.8% 的预测精度，Full 模型则获得了高达 95.1% 预测准确度。该项研究基于大量循环测试基础数据基础上，利用机器学习构建了基于放电容量的电压曲线特征的预测模型，实现了对电池寿命高效和准确的预测，对电池技术快速发展具有重大指导意义。相关研究成果发表在《Nature Energy》¹⁰。

（谢帅 郭楷模）

嵌入转化正极助力锂硫电池质量和体积能量密度双提升

锂硫电池理论能量密度高达 2600 Wh/kg，数倍于传统的锂离子电池，是锂离子电池的潜在继承者，具有广阔的发展前景。然而过量使用非活性组分（例如电解质和导电碳）导致电池能量密度与理论值相去甚远，以及多硫化物穿梭效应使得该类电池循环能力和容量快速衰减，上问题限制了锂硫电池商业化应用。麻省理工学院 Ju Li 教授课题组牵头的国际联合研究团队设计了一种具有致密的嵌入转化杂化机制

¹⁰ Kristen A. Severson, Peter M. Attia, Norman Jin, et al. Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nature Energy*. 2019, DOI: 0.1038/s41560-019-0356-8

的正极材料，显著改善穿梭效应，同时减少硫正极中的非活性组分，从而提升了电池的质量能量密度 (E_g) 和体积能量密度 (E_v)。研究人员首先对正极孔隙率和正极比能量密度之间的关系进行理论分析，结果显示孔隙率极大地影响正极性能和最终的 E_g 和 E_v ，且随着孔隙率增加两者都会减小。然而当前已报道的相关文献采用电解质与活性物质的比例 (E/AM) 普遍大于 $15 \mu\text{l}/\text{mg}$ (锂离子电池正极为 $\sim 0.3 \mu\text{l}/\text{mg}$)，意味着基于 S_8 正极的超高比容量往往是通过过大的正极孔隙率和过量的电解质来实现的，在这种情况下，全电池的 E_g 和 E_v 能量密度就会下降。为此，研究人员将具备快速锂嵌入反应和高振实密度的电化学活性 Chevrel 相多硫化钼 (Mo_6S_8) 与 S_8 复合，设计出嵌入-转换型混合正极材料 (含碳量仅为 10% 质量分数)，由于 Mo_6S_8 本身具备良好的电子和离子电导特性，因此可以在大幅减少非活性物质碳材料使用量的情况下保证电极良好的电子和离子电导。而且由于大幅减少碳材料使用，正极孔隙率也大幅下降，从 70% 减少至 55%。 E/A 比例也大幅下降至 $1.2 \mu\text{l}/\text{mg}$ 。随后将该新型正极和 Li 金属组装成完整电池进行电化学测试。实验结果显示，基于新型嵌入-转换型混合正极锂硫电池的 E_g 和 E_v 分别高达 $366 \text{ Wh}/\text{kg}$ 和 $581 \text{ Wh}/\text{l}$ ，综合能量密度 (E_g 和 E_v) 优于一般锂硫电池和商业锂离子电池。且经过 100 余次循环后，电池仍可保持 83% 的初始容量，呈现出优异循环稳定性，这种良好的循环稳定性可归因于放电产物 $Li_xMo_6S_8$ 对多硫化锂 ($LiPS$) 具有良好的吸附能力，即 $LiPS$ 会被完全转化，从而抑制了穿梭效应。该项研究采用高电子和离子电导的嵌入式电极材料 Mo_6S_8 取代非活性物质碳和 S_8 杂化形成嵌入-转化复合正极，大幅减少了碳含量和电解质用量，保证循环寿命的前提下单体能量密度大幅度提升，同时实现高的体积能量密度和质量能量密度，为解决锂硫电池商业化发展挑战提供了新的技术方案。相关研究成果发表在《*Nature Energy*》¹¹。

(谢帅 郭楷模)

非贵金属分子催化剂电极实现 CO_2 到 CO 高效稳定还原

以太阳能为驱动力催化转化 CO_2 制取高价值的碳氢燃料和化学品，是将温室气体 CO_2 进行资源化利用的理想途径之一。然而，目前文献报道的催化剂电极大多采用贵金属半导体，尽管催化效率可观，但稳定性和产物选择性较差且成本较为高昂，亟需研发新型非贵金属低成本高效催化剂电极。剑桥大学 Erwin Reisner 教授带领的研究团队设计制备了一种新型的基于非贵金属的分子催化剂光阴极，其在有机和水的混合溶液以及纯水溶液两种条件下均能够实现将 CO_2 高效稳定还原为 CO 。研究人员首先采用自组装的方法制备了非贵金属分子催化剂双 (三联吡啶) 磷酸钴

¹¹ Weijiang Xue, Zhe Shi, Liumin Suo, et al., Intercalation-conversion hybrid cathodes enabling Li-S full-cell architectures with jointly superior gravimetric and volumetric energy densities. *Nature Energy*, 2019, DOI:10.1038/s41560-019-0351-0

(CotpyP)，并将其溶解于甲醇溶液中。同时利用电化学沉积法在硅(Si)衬底上生长一层多孔二氧化钛(mesoTiO₂)纳米晶薄膜形成 Si|mesoTiO₂ 复合物，mesoTiO₂ 作为负载催化剂的骨架层，扫描电镜表征显示 mesoTiO₂ 纳米晶薄膜颗粒平均尺寸约 15 nm，薄膜厚度约 6 μm。接着将 Si|mesoTiO₂ 浸入 CotpyP 甲醇溶液中以吸附 CotpyP 催化剂，形成 Si|mesoTiO₂ |CotpyP 复合光阴极。随后将制备的光阴极至于不同的电解液中进行催化性能测试。当电解液为 0.1 摩尔的四丁基四氟硼酸铵无水乙腈 (MeCN) 溶液时，产物检测结果显示没有 CO 或者 H₂，表明催化电极在纯有机溶液中无法催化还原 CO₂；但往上述电解液加入少量水分后，产物中便检测到了 CO，且随着水分(H₂O)比例增加催化剂周转数(TON)增大，产物增加，法拉第效率也增加。结果显示在 MeCN:H₂O 体积比为 6:4 的时候，催化转化性能最佳，TON 达到 159，其法拉第效率达到 77%，产物选择性达到了 75%，且可以稳定催化 24 小时以上，高效稳定催化性能超越了先前报道的所有分子催化剂，与贵金属催化剂电极性能相当。进一步研究发现，Si|mesoTiO₂ |CotpyP 光阴极在 CO₂ 饱和的纯水溶液中也实现 CO₂ 催化还原，TON 达到 21，法拉第效率 13%。循环伏安以及原位共振拉曼和红外光谱研究发现，新型催化剂光阴极的催化作用机理与已报道的贵金属双(三联吡啶)催化作用机制不同，其催化反应过程不会消耗三联吡啶(即催化电极不会被消耗)，从而保障高效稳定催化性能。该项研究精心设计制备了非贵金属组分组装而成的分子催化剂基光电阴极，在有机和水的混合溶液以及纯水溶液两种溶液环境中均展现出良好的 CO₂ 催化还原性能，为设计开发高效的 CO₂ 催化电极提供了全新的思路。相关研究成果发表在《*Nature Catalysis*》¹²。

(谢帅 郭楷模)

可充电水溶液铁金属电池展现良好经济性和应用潜力

相比有机溶液电解质电池，水溶液可充电电池因其独特的资源、价格、安全性等优点，被认为是规模储能的理想选择之一。其中可充电的铁金属电池凭借极高的理论比容量、适当的反应电位、廉价丰富的资源等优点成为了水溶液可充电金属电池领域的研究热点。俄勒冈州立大学 Xiulei Ji 教授课题组系统研究了 Fe 金属在硫酸铁(FeSO₄)水溶液中的电沉积行为，揭示了 FeSO₄ 电解液中 Fe 电镀/剥离的可逆性以及 Fe²⁺在铁基普鲁士蓝衍生物中的可逆的嵌入和脱嵌行为，由此设计制备了一种低成本高性能的水溶液铁金属电池。铁金属作为电极，首先要确认该材料在电池循环过程是否具有良好的电镀/剥离的可逆性，为此研究人员组装三电极(两个 Fe 电极、一个铜电极)电池，并测试循环伏安曲线研究 Fe 金属在 FeSO₄ 水溶液中的电沉积行为。测试结果显示，发现 Fe 在沉积过程中具有~0.2 V 的过电位，在剥离的过程

¹² JaneJ. Leung, Julien Warnan, Khoa H. Ly, et al. Solar-driven reduction of aqueous CO₂with a cobalt bis(terpyridine)-based photocathode. *Nature Catalysis*. 2019, DOI: 10.1038/s41929-019-0254-2

中具有~0.05 V 的过电位, Fe 电镀和剥离的总极化约为 0.25V, 高于文献报道的 Zn 金属电池, 表明 Fe 电镀和剥离具有更加优异稳定性能。在 0.125 mA/cm² 电流密度下进行恒电流循环测试, Fe/Fe 对称电池可以稳定循环 500 小时后, 平均库伦效率约为 90%。拆解电池并对循环后的电极进行扫描电镜测试发现 Fe 电极沉积不形成枝晶, 沉积形貌为大块的、密实的 Fe 颗粒, 这是保障电池长时间稳定循环的关键所在。随后将 Fe 负极和具有三维多孔框架结构的 Fe 基普鲁士蓝衍生物 Fe₄[Fe(CN)₆]₃ 正极、FeSO₄ 水溶液组装成完整的全电池, 在 1C (1C=60 mA/g) 放电电流密度下进行循环测试, 电池获得了 60 mAh/g 的比容量。而当提高放电电流到 10C 时候, 电池依旧可以获得 49 mAh/g 的比容量, 并且稳定循环 1000 余次后仍可保持 80% 的初始容量, 平均库伦效率高达 99.3%, 展现出极其优异的循环稳定性。通过上述实验结果, 研究人员总结了 Fe₄[Fe(CN)₆]₃||Fe 电池的工作机理: 在放电期间, Fe 金属负极发生氧化变成 Fe²⁺ 离子, 随后释放到电解质中, 通过扩散作用到达 Fe₄[Fe(CN)₆]₃ 电极并嵌入到晶格框架中, 而在充电过程中, 这种过程是相反的。为了探究 Fe 金属电极的普适性, 研究人员进一步将 Fe 金属与其他嵌入型化合物电极组合, 组装了 Fe||(FeSO₄+Li₂SO₄)||LiFePO₄ 电池, 在 1C 倍率下, 该电池表现出~0.8 V 的工作电压, 获得 155mAh/g 的初始比容量, 100 次循环后仍可保持 83% 的初始容量, 平均库伦效率 96.4%, 表现出类似的循环稳定性。该项研究系统地研究了 FeSO₄ 电解液中 Fe 电镀/剥离以及 Fe²⁺ 在铁基普鲁士蓝衍生物中可逆的嵌入和脱嵌反应机理, 从而构建出低成本高性能的水溶液铁金属电池, 为设计开发高性能低成本的储能技术提供了新的技术方案。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》¹³。

(周斌 郭楷模)

¹³ Xianyong Wu, Aaron Markir, Yunkai Xu, et al. A Rechargeable Battery with an Iron Metal Anode, *Advanced Functional Materials*, 2019, DOI:10.1002/adfm.201900911

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

