

# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- IEA：2017年全球电动汽车保有量达创纪录的310万辆
- DOE发布《能源部门网络安全多年期规划》强化能源网络安全
- DOE资助6850万美元推进先进车辆技术研发
- 日本NEDO部署太阳能发电研发新项目
- 新型陶瓷燃料电池具有超长寿命和高燃料普适性

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:**

陈伟

[chenw@whlib.ac.cn](mailto:chenw@whlib.ac.cn)

郭楷模

[guokm@whlib.ac.cn](mailto: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: 2017年全球电动汽车保有量达创纪录的310万辆 .....2  
DOE发布《能源部门网络安全多年期规划》强化能源网络安全 ...4

### 项目计划

- DOE资助6850万美元推进先进车辆技术研发 .....6  
ARPA-E资助3000万美元支持电网规模长时储能技术研发 .....7  
日本NEDO部署太阳能发电研发新项目 .....8

### 前沿与装备

- 新型陶瓷燃料电池具有超长寿命和高燃料普适性 .....9  
环境友好的非卤素溶剂实现钙钛矿电池高效光电转换 .....9  
氟氧化物催化剂实现可见光驱动分解水产氢和CO<sub>2</sub>还原 .....10  
红磷填充包覆的碳纳米管负极增强电池性能和循环寿命 .....11

## 本期概要

国际能源署 (IEA) 发布了《全球电动汽车展望 2018》报告, 系统分析了全球电动汽车市场的发展现状和未来的发展潜力: 2017 年全球电动汽车销量达创纪录的 110 万辆, 环比增长 54%。其中一半的销量来自中国市场 (58 万辆), 是 2017 年销量最多的国家; 美国以 28 万辆销售量紧随其后。在保有量方面, 截止 2017 年底, 全球电动汽车保有量达到了 310 万辆的历史新高, 其中中国市场保有量占到全球总量的 40%, 是全球最大的电动汽车市场, 美国以 25% 的占比位列第二。电动汽车发展不仅限于汽车, 电动公交车和电动两轮车 (自行车和摩托车) 也在快速发展, 2017 年两者的销量依次达到 10 万辆和 3000 万辆。与电动汽车蓬勃发展的市场类似, 全球电动车充电基础设施 (如充电桩) 的部署规模也大幅增加, 2017 年全球家庭和工作场所的私人充电设施数量约 300 万个。

美国能源部 (DOE) 发布《能源部门网络安全多年期规划》报告指出, 能源系统面临日益增加的网络风险挑战, 因此增强美国的能源系统的网络韧性, 降低网络攻击事件给美国能源系统带来的威胁, 保护其免受网络攻击是国家工作的重中之重, 为此战略提出了 DOE 未来五年力图实现的能源网络安全三大优先目标, 包括: (1) 加强能源部门网络安全防范; (2) 增强网络安全事件协同响应和恢复能力; (3) 加速韧性能源传输系统的变革性技术研究、开发和示范 (RD & D), 以及实现这些目标将采取的相应举措。详见正文。

美国能源部 (DOE) 宣布资助 6850 万美元用于支持先进车辆技术项目研发, 重点关注四大技术主题, 包括: (1) 电池和电气化; (2) 汽车材料; (3) 先进的节能技术集成; (3) 发动机和燃料协同优化技术; 旨在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。

美国能源部先进能源研究计划署 (ARPA-E) 宣布资助 3000 万美元开展“电网长时储能 (DAYS)”项目, 将开展储能相关的一系列技术研发工作, 包括: 开发高效的储能材料; 开发全新的储能系统架构、高能量密度的储能介质; 开发能量效率不低于 50%、20 年寿命、全生命周期储能系统电力成本约 600 美元/千瓦 (和 200 美元/千瓦)、放电持续时间在 8-100 小时的电网储能系统原型, 旨在获得可部署在几乎任何位置的新型长时电网储能系统, 提供 10 至 100 小时的可靠长时电力存储, 增强美国电网的弹性和稳定性, 以满足美国电网现代化的发展需求。

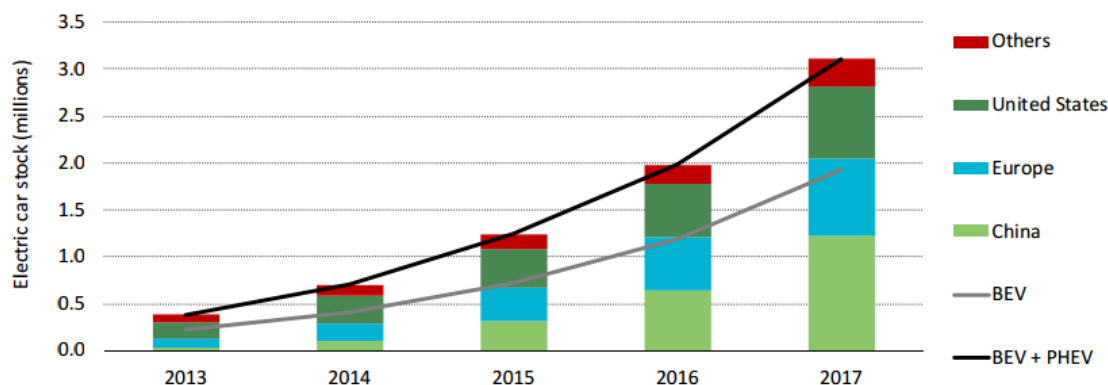
日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 宣布启动新一轮的太阳能发电研发项目, 涵盖两大主题, 包括: (1) 低成本、高性能、长寿命太阳能发电技术开发, 旨在到 2020 年将太阳能光伏发电成本降至 14 日元/千瓦时、到 2025 年降至 7 日元/千瓦时; (2) 建筑一体化高效光伏发电系统开发, 旨在到 2020 年针对 2020 年的基本实现新建建筑零排放目标。详见正文

科罗拉多州矿业大学 Ryan O' Hayre 教授研究团队联合阿联酋石油研究所设计合成了适合低温运行的新型陶瓷燃料电池: 该电池呈现出优异的抗积碳、耐硫性、长寿命等优异特性, 更为关键的是该电池具备极高的燃料普适性, 提供了燃料电池发展的新方向。

### IEA：2017 年全球电动汽车保有量达创纪录的 310 万辆

5 月 30 日，国际能源署（IEA）发布了《全球电动汽车展望 2018》报告<sup>1</sup>指出，各国政府强力的政策支持以及持续下降的电池成本推动了全球电动汽车销量的快速增长。2017 年，全球电动汽车销售数量超 100 万辆，环比增长 54%，使得全球电动汽车累计保有量达到了创纪录的 310 万辆。报告强调强有力的政策支持和技术进步将会促使电池性能进一步提高、成本进一步下降，从而继续推动全球电动汽车市场持续增长，促进交通运输电气化。报告系统分析了近期全球电动汽车市场的发展现状和未来的发展潜力，要点如下：

•2017 年全球电动汽车销量达创纪录的 110 万辆，同比增加 54%。其中一半的销量来自中国市场（58 万辆），比上年增长 72%，成为 2017 年销量最多的国家；美国以 28 万辆销售量紧随其后，较 2016 年大幅增长 72%。在保有量方面，截止 2017 年底，全球电动汽车保有量达到了 310 万辆的历史新高，其中中国市场保有量占到全球总量的 40%，是全球最大的电动汽车市场，美国以 25% 的占比位列第二。而在电动汽车市场份额方面，北欧国家处于领先地位。其中挪威电动汽车占新车销售量的 39%，是全球电动汽车销售市场份额最高的国家，冰岛以 12% 市场份额紧随其后，瑞典则以 6% 跻身前三甲，中国以 2.2% 位列第四，而德国（1.6%）、美国（1.2%）电动汽车市场份额均超过 1%。



注：BEV-纯电动汽车；PHEV-插电式电动汽车

图 1 2013-2017 年全球电动汽车保有量发展态势（单位：百万辆）

•电动汽车发展不仅限于汽车，电动公交车和电动两轮车（自行车和摩托车）也在快速发展，2017 年两者的销量依次达到 10 万辆和 3000 万辆，使得两者的累计保有量分别达到了 37 万辆和 2.5 亿辆。上述两种交通工具的电气化几乎完全由中国驱动，中国市场电动公交车和电动两轮车保有量之和占有全球保有量的 99%，与

<sup>1</sup> Global EV outlook 2018. [https://webstore.iea.org/download/direct/1045?fileName=Global\\_EV\\_Outlook\\_2018.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/1045?fileName=Global_EV_Outlook_2018.pdf)



此同时中国销往欧洲和印度的电动公交车和电动两轮车数量也在逐渐增长。

•与电动汽车蓬勃发展的市场类似，全球电动车充电基础设施（如充电桩）的部署规模也大幅增加，为电动车的长途行驶提供保障。2017年，全球家庭和工作场所的私人充电设施数量约300万个。此外，2017年全球约有43万个公共使用充电设施，其中四分之一是快速充电设施，四分之三是慢速充电设施。与电动汽车类似，中国也是全球公共充电设施数量最多的国家，其中快速充电设施占全球快速公共充电设施总量的41%，慢速充电设施占比则高达74%。快速充电设施在人口密集的城市尤其重要，并通过实现长途旅行，为提高电动汽车的吸引力发挥重要作用。

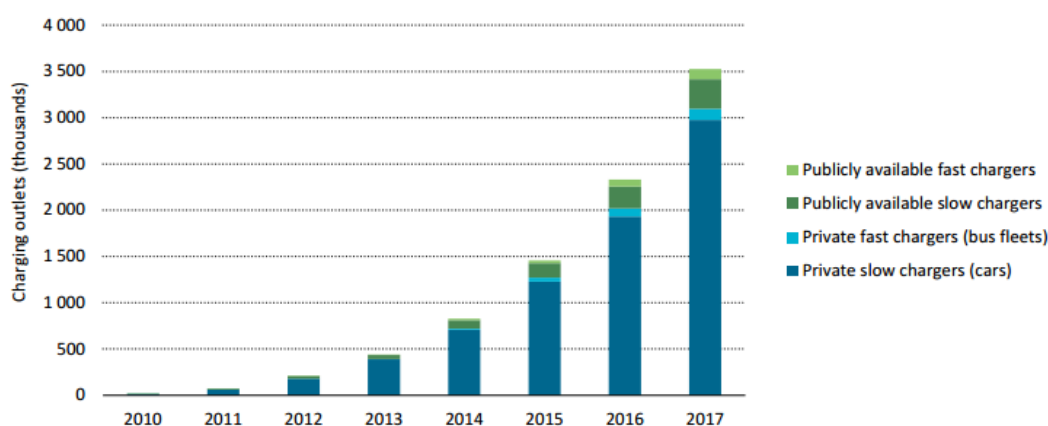


图 2 2010-2017 年电动汽车充电基础设施发展趋势预测 (单位: 千个)

•自 1990 年面市以来，锂离子电池的成本不断下降，尤其是 2010 年以后下降速度加快，成本从 2010 年的 400 美元/千瓦时降到 2017 年的 94 美元/千瓦时，同比下降 76%。随着研发力度加大、技术突破与进步，车用动力电池成本将持续下滑，同时能量密度不断提高，使得电动汽车的续航里程增加，从而让电动汽车性价比能够匹敌传统内燃机车辆，将会推动电动汽车市场规模不断扩大。IEA 新政策情景显示，到 2030 年全球电动汽车保有量预计将达到 1.25 亿辆，而在 EV30 @ 30 挑战行动情景中，到 2030 年全球电动汽车保有量更是有望突破 2 亿辆 (图 3)。

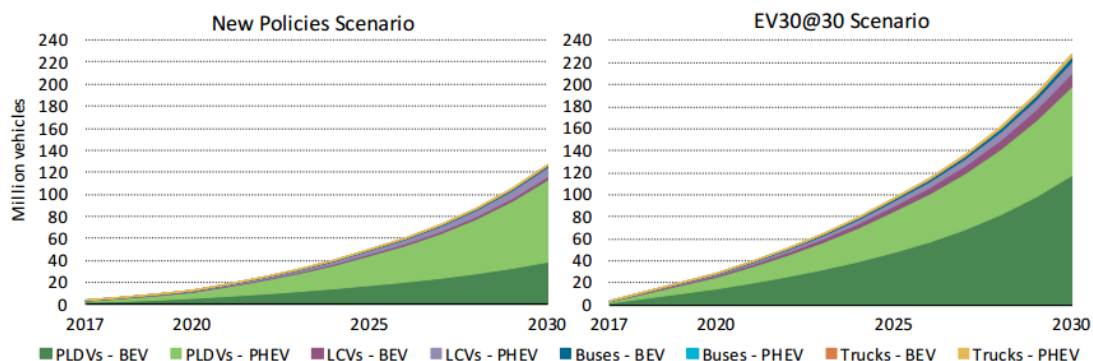


图 3 不同情景下到 2030 年电动汽车保有量发展趋势预测 (单位: 百万辆)

•强有力的政策和激励措施对电动汽车的未来发展至关重要。截至当前，电动汽

车部署规模的增长主要受政府政策推动，包括公共采购计划、减少电动汽车购买成本的财务激励措施、提高燃油经济性标准和限制污染物排放的当地法规、低排放和零排放汽车的指令等。政策不仅影响着消费者购买偏好，也通过降低风险的方式鼓励投资者和制造商扩大生产，推动电力网络部署。

•电动汽车是主要清洁能源技术之一，它们对实现全球长期气候目标和降低空气污染方面将发挥关键作用。基于电能的动力系统再加上低碳电力，使得电动汽车可以大幅减少二氧化碳排放。且电动汽车不排放尾气，因此也显著降低了氮氧化物的排放。在新政策情景中，预计到 2030 年通过发展电动汽车可以减少 1.2 亿吨碳排放；而在 EV30@30 情景中，碳减排量可以进一步提高至 2.4 亿吨。

编者按：为应对能源与环境问题，推动交通电动化成为重要发展趋势，在 2010 年召开的 20 国清洁能源部长级会议上，中美两国共同提出了电动汽车倡议 (EVI)，旨在促进全球电动汽车的发展，截至目前，参加 EVI 倡议的国家达到 15 个，包括中国、美国、法国、德国、英国、挪威及日本等。2017 年 EVI 主要成员国主导发起了 EV30@30 挑战行动，目标是到 2030 年电动汽车销量占到全球新车销量的 30%。为了推动实现 EV30@30 的目标，2018 年 5 月底 EVI 在第九届清洁能源部长级会议期间启动了全球电动汽车示范城市发展项目 (PCP)，旨在 5 年内在全球招募 100 个电动汽车友好城市，共同围绕电动汽车推广的政策法规、城市规划、充电技术、共享出行等方面开展广泛的国际合作与交流。

(郭楷模)

## DOE 发布《能源部门网络安全多年期规划》强化能源网络安全

5 月 14 日，美国能源部 (DOE) 发布《能源部门网络安全多年期规划》报告指出<sup>2</sup>，在高度互联的数字信息时代，可靠的能源和电力供应对交通运输、水利、通信、金融、食品和农业、应急服务等领域的正常稳定运营至关重要，因此增强美国能源系统的网络韧性，保护其免受网络攻击是国家工作的重中之重。鉴于能源系统面临日益增加的网络风险挑战，为了增强能源系统抵御网络风险的能力，降低网络攻击事件给美国能源系统带来的威胁，该规划提出了 DOE 未来五年力图实现的能源网络安全三大优先目标，包括：（1）加强能源部门网络安全防范；（2）增强网络安全事件协同响应和恢复能力；（3）加速韧性能源传输系统的变革性技术研究、开发和示范 (RD&D)，以及实现这些目标将采取的相应行动。主要内容如下：

### 1、能源领域网络安全发展现状

能源系统所有者和运营商已经整合了先进的数字技术实现了对能源系统物理功

---

<sup>2</sup>Department of Energy Releases Integrated Strategy to Reduce Cyber Risks for the U.S. Energy Sector.  
<https://www.energy.gov/ceser/articles/department-energy-releases-integrated-strategy-reduce-cyber-risks-us-energy-sector>

能的自动化控制，提高了能源系统性能和适应瞬息万变的发电组合。但数字技术的广泛采用也造成了更大的网络攻击面和恶性网络安全事件发生的几率。网络威胁发生的频率、规模和复杂程度日益提高，网络攻击变得更容易发起。民粹主义分子、犯罪组织和恐怖分子经常性通过网络入侵美国能源系统，企图利用网络漏洞来破坏能源系统。随着不同国家之间的能源系统日益增加的互联互通，跨组织和地理边界的能源系统网络安全事件发生概率也逐步增加。作为回应，政府和私营部门持续增加在网络安全运营和维护方面的支出。尽管防御网络风险的能力有所提高，但能源企业越来越难以应对日益严峻的网络安全攻击。

## **2、能源领域公私合作伙伴关系至关重要**

公共和私营部门共同承担确保能源系统免受网络威胁的责任。能源系统所有者和经营者对保护他们的系统免受各种风险负有主要责任。联邦政府与私营部门形成互补，以帮助减少网络事件可能引发大规模或长期的能源中断的风险，从而保护国家和经济安全。随着民粹主义分子、犯罪组织和恐怖分子越来越多地瞄准能源网络，联邦政府将提供业务指导、技术专家、专业信息和资源，以帮助私营部门保护其能源系统。

## **3、DOE 加强能源领域网络安全的策略**

预测和应对最新的网络威胁需要不断努力，也需要更多的资源和人力。鉴于网络威胁的升级，之前的网络安全方法效率不高、效果不佳，也不可持续。因而必须认识到当前的现实：资源有限且网络威胁超过了最佳防御能力。为了抢占网络风险防范先机，需要对当前的网络风险管理做法进行颠覆性改变。为此，《能源网络安全多年期规划》着重采取两大战略举措：一是加强与现有合作伙伴的合作，强化能源网络系统韧性和风险管控能力建设，以应对日益增加的网络威胁；二是开发变革性的解决方案，构建固有安全、有韧性和自我防卫能力的新型能源系统。面对不断变化的网络威胁，公共部门和私营部门应该强化合作，采取协调一致的方式来提高信息的透明度、网络风险管控和事件响应能力，以减少美国能源领域的网络风险。

为了落实上述两大战略举措，规划提出了能源网络安全需要优先发展的三大目标，具体内容如下：

### **1、加强能源部门网络安全防范**

- 加强网络信息共享和网络风险态势感知能力：定义网络态势感知信息需求和数据；及时提供风险简报，并提高私营部门信息的接触许可程度；在国家/地方利益相关方制定能源保障规划中增加网络安全防范工作比重；建立有效的国家和国际合作伙伴关系。

- 开发和改进双向、实时、机器对机器的信息共享工具：推动能源部门参与网络安全风险信息共享计划（CRISP）；提升 CRISP 的能力，以监测、分析和分享网络



风险威胁指标；开发一个虚拟的恶意软件取证分析平台。

- 强化风险管控能力：更新网络安全能力成熟度模型（C2M2）和风险管理流程（RMP）；与电力合作社和公共电力公司合作，塑造能源部门网络安全文化。

- 减少关键的网络安全供应链漏洞和风险：建立能源传输系统测试和分析能力。

## 2、增强网络攻击事件协同响应和快速恢复能力

- 为能源领域建立协同的国家网络安全事件应对能力：开发网络安全事件应对流程和应急预案，并利用技术能力来增加网络互助功能。

- 开展网络事故应对培训，改善事故报告：培训应急反应人员，更新事故报告流程。

- 实施网络安全事件应对流程和协议：建立年度网络安全事件应对演习计划；增加与非联邦政府利益相关方的网络演习。

## 3、加速韧性能源传输系统的变革性技术研发与示范

- 研究、开发和示范创新的工具和技术，以预防、发现和减轻当今能源传输系统的网络安全事件。

- 研究和开发变革性的网络安全工具和技术：预测未来能源领域的网络攻击情景，并从一开始就将网络安全设计嵌入新兴的能源传输系统设备；使未来的系统和组件具有网络安全自主意识，能够自动预防、发现和减轻网络安全事件。

- 在国家实验室建立战略核心能力，并建立大学合作机制，致力于提升能源传输系统的网络安全性能。

（吴勘 郭楷模）

## 项目计划

### DOE 资助 6850 万美元推进先进车辆技术研发

5月1日，美国能源部（DOE）宣布资助6850万美元用于支持先进车辆技术项目研发<sup>3</sup>，涵盖四大主题领域：电池和电气化、汽车材料、先进的节能技术集成、发动机和燃料协同优化技术，旨在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。本次资助项目具体内容参见表1。

表1 先进车辆技术项目四大主题具体研究内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
电 池 和 电	•针对电动汽车开发新型的高性能低钴含量、或非钴正极活性材料，	2700

<sup>3</sup> Secretary of Energy Rick Perry Announces \$68.5 Million for Advanced Vehicle Technologies Research. <https://www.energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-685-million-advanced-vehicle-technologies-research>

气化	提升动力电池能量密度和循环寿命，将电池成本降至 100 美元/千瓦时 <ul style="list-style-type: none"> <li>•针对插电式电动汽车开发高功率、快速充电功能的快速充电桩，实现对多辆电动汽车同时快速充电，缩减充电时间</li> <li>•从系统规划的顶层设计、产品开发、建设和运行考虑，完善充电设施网络（包括充电设备、通信系统和信息服务平台等），增强充电设施的网络安全</li> </ul>	
汽车材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>•开发预测模型，来准确预测不同轻量化材料衔接处暴露在高湿度、高温度和高盐度环境中的机械强度和寿命</li> <li>•开发仿真模型来研究新型耐高温合金材料作为发动机组件（如活塞、排气阀、涡轮机等）应用时抗氧化/老化性能</li> </ul>	600
先进节能技术集成	<ul style="list-style-type: none"> <li>•利用高性能计算机和人工智能优化交通系统，提升交通效率，减少能源消耗</li> <li>•依托大数据、人工智能和共享交通工具解决客运和货运服务“最后一公里”问题，为旅客、货运提供更加便捷、高效的交通运输，节约能源消耗</li> <li>•针对多单元住宅和沿街住宅开发创新的充电技术和模式，如移动式充电、配对充电和住宅充电中心等，节约能耗</li> </ul>	2000
燃料和发动机协同优化	<ul style="list-style-type: none"> <li>•针对建筑、农业和采矿领域的商用越野车开发新型的发动机和排放控制技术、废热回收技术等，来提升燃油效率，减少能耗和排放</li> <li>•开发多种点火模式（如压燃点火、火花点火）的发动机和燃料协同优化轻型、多缸的发动机，将发动机燃油效率提升 10%</li> <li>•针对中型和重型柴油发动机开发新型生物燃油，将其排放减少 50%</li> </ul>	1550

（郭楷模）

## ARPA-E 资助 3000 万美元支持电网规模长时储能技术研发

5 月 1 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助 3000 万美元实施“电网规模长时储能（DAYS）”主题研究计划<sup>4</sup>，旨在研发可部署在几乎任何位置的电网规模新型长时电力储能系统（LDES），以提供 10 至 100 小时、平准化成本为 5 美分/千瓦时的可靠电力，增强电网的韧性和稳定性，实现可再生能源电力更高比例的并网，以满足美国电网现代化的发展需求。本次资助着重开展的研究内容如下：

- 开发高效的储能材料（如高性能压缩泵、高能量密度的正负极、不易燃不易挥发的电解质），以获得更高能量密度、更长寿命的储能系统（如空气压缩储能、锂电池等）；

- 开发全新的储能系统架构、高能量密度的储能介质以降低采用电力储能系统的电厂配套设施和电力成本；

<sup>4</sup> Department of Energy Announces Funding to Support Long-Duration Energy Storage.  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-funding-support-long-duration-energy-storage>

•开发能量效率不低于 50%、20 年寿命、全生命周期储能系统电力成本约 600 美元/千瓦、放电持续时间在 8-10 小时（即能量储存的时间周期达到 8-10 小时）的电网规模储能系统原型，并在相应选址进行现场示范，评估其技术-经济性能，以满足昼夜用电负荷调节应用的需求；

•开发能量效率不低于 50%、20 年寿命、全生命周期储能系统电力成本 200 美元/千瓦、平准化成本 5 美分/千瓦时、放电持续时间在近 100 小时（即能量储存的时间周期达到 100 小时）的电网规模储能系统原型，并在相应选址进行现场示范，评估其技术-经济性能，以为满足季节性用电负荷调节应用的需求。

（吴勘 郭楷模）

## 日本 NEDO 部署太阳能发电研发新项目

5 月 28 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布启动新一轮的太阳能发电研发项目<sup>5</sup>，旨在开发新型太阳电池技术，提高发电效率，以降低太阳能发电成本。本次项目将关注两大主题领域，具体内容如下：

### 1、低成本、高性能、长寿命太阳能发电技术开发（项目周期：2018-2019 年）

依托硅异质结和背面钝化接触等先进技术开发低成本、高效率、长寿命的双面进光的硅异质结太阳电池、背面钝化接触的晶硅太阳电池，旨在到 2020 年将太阳能光伏发电成本降至 14 日元/千瓦时、到 2025 年降至 7 日元/千瓦时。本次项目周期主要开展的研究内容包括：低成本、高效率、长寿命的双面进光硅异质结太阳电池的开发研究；通过化学气相沉积和掺杂技术提升硅异质结太阳电池光电转换效率；接触钝化和减少接触界面以抑制接触复合；低成本高性能异质结背接触硅电池小规模量产。

### 2、建筑一体化高效光伏发电系统开发（项目周期：2018 年）

开发低成本、高功率的建筑一体化光伏发电系统（如屋顶光伏、壁挂式光伏等）及其维护技术，旨在到 2020 年基本实现新建建筑零排放目标。本次项目主要开展的研究内容包括：面向建筑一体化开发新型的住宅屋顶光伏发电技术，降低电池模块制造成本；开发双面进光太阳电池模块，及其替代玻璃安装在建筑窗户上的低成本安装工艺；改善太阳电池组件对斜射到墙壁的太阳光的收集效率，提高发电效率；标准化壁挂式太阳能发电面板（即用太阳能板替代传统建筑的玻璃板）安装流程；面向零排放建筑开发相应的光伏发电系统安装方案。

（陈梦石 郭楷模）

<sup>5</sup>太陽光発電の発電コスト低減を目指した 2 事業で新たにテーマを採択。  
[http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100959.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100959.html)

## 前沿与装备

### 新型陶瓷燃料电池具有超长寿命和高燃料普适性

质子陶瓷燃料电池 (PCFC) 不仅具有可与固态氧化物燃料电池媲美的高效发电效率, 并且能够在较低的温度 (350-600°C) 高效运行, 还拥有更优异的抗积碳和抗硫中毒特性, 是极具发展前景的新一代燃料电池技术。科罗拉多州矿业大学 Ryan O'Hayre 教授研究团队联合阿联酋石油研究所设计合成了适合低温运行的新型阴极材料和电解质, 在此基础上开发了全新的抗积碳、耐硫性、多种燃料通用的超长寿命质子陶瓷燃料电池, 为燃料电池的发展提供了新的技术方向。研究人员以碳酸钡、氧化铈、氧化锆、氧化钇、氧化镍和氧化铜为原料制备了阴极材料 (BCY)、阳极材料 (BZY) 和电解质, 并由此组装了燃料电池, 系统研究了在 500°C 条件下这种 PCFC 对氢气、甲烷、天然气 (含硫和不含硫)、丙烷、正丁烷、异丁烷、异辛烷、甲醇、乙醇、氨等 11 种未经过预处理燃料的适用性。实验结果显示, 11 种燃料均可在测试条件下稳定运行 6000 多个小时, 大多数燃料每 1000 小时的性能衰减率不到 1.5%, 且没有出现积碳迹象和温度大幅波动, 而使用部分燃料的 PCFC 可以在测试条件下稳定工作超过 6000 小时, 展现出了极其优异的长寿命高稳定运行特性。其中以氢气为燃料的电池器件峰值功率最高, 可达 455 mW/cm<sup>2</sup>。此外, 器件还具备了优异的耐硫性, 即使在高达 19.5 ppm (美国天然气标准中硫含量上限为 17 ppm) 浓度的硫含量环境也没有造成电池性能衰退。为了探究该电池优异的抗积碳、耐硫性、长寿命特性的潜在机理, 研究人员对电池电化学反应过程进行了扫描电镜、原位拉曼光谱等一系列微观结构表征。结果表明, 电池运行过程中在阴极表面析出的一层均匀的镍纳米颗粒涂层, 可以有效抑制焦炭产生, 同时还可以抑制硫的吸附以避免硫中毒, 成为了电池长寿命的关键因素。另外, 该新型陶瓷电池在 350°C 低温环境下也可以实现稳定运行, 表现出良好的低温运行特性。该项研究设计制备了新型的质子陶瓷燃料电池, 呈现出优异的抗积碳、耐硫性、长寿命等特点, 更为关键的是该电池具备极高的燃料普适性, 提供了燃料电池发展的新方向。相关研究成果发表在《Science》<sup>6</sup>。

(郭楷模)

### 环境友好的非卤素溶剂实现钙钛矿电池高效光电转换

当前几乎所有高效钙钛矿太阳电池 (效率大于 20%) 都采用抗溶剂法制备钙钛矿薄膜, 然而传统卤素抗溶剂 (如氯苯 (CB)、甲苯 (TLN) 等) 毒性大、对环境

<sup>6</sup> Chuancheng Duan, Jianhua Tong, Meng Shang, et al. Readily processed protonic ceramic fuel cells with high performance at low temperatures. *Science*, 2018, DOI: 10.1038/s41560-018-0147-7

不友好，不适合大规模生产，因此亟需开发绿色环保的抗溶剂。瑞士福里堡大学 Michael Saliba 教授课题组联合瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Grätzel 教授团队创造性地采用绿色、环保的苯甲醚（ANS）作为非卤素抗溶剂及空穴传输材料溶剂，在惰性气氛中获得了高达 20.5% 的光电转换效率，显著改善了器件材料的环保性，消除了电池大规模商业生产潜在的环境指标障碍。研究人员系统对比研究了 CB、TLN 和 ANS 三种不同抗溶剂对钙钛矿薄膜形貌的影响。扫描电镜的实验结果显示，在手套箱内基于三种抗溶剂制备的钙钛矿薄膜的形貌几乎没区别；而在手套箱外，采用 TLN 作为抗溶剂制备的钙钛矿薄膜表面形成了众多针孔，但基于 CB 或者 ANS 抗溶剂制备的钙钛矿薄膜的形貌与手套箱内制备的效果差不多，依旧呈现出致密均匀的完全覆盖的薄膜形貌。进一步的光学性质研究显示，基于三种抗溶剂制备的钙钛矿薄膜的紫外可见光和光致发光性质没有明显差别。而 X 射线衍射结果呈现出类似情况，即基于三种抗溶剂体系所得的薄膜没有明显的结晶差别。随后研究人员使用不同抗溶剂制备的钙钛矿薄膜组装电池器件，研究不同抗溶剂对电池性能的影响。结果显示，在手套箱内，采用 ANS 作为抗溶剂的电池短路电流密度、开路电压和填充因子分别为  $23.26 \text{ mA/cm}^2$ ， $1.12 \text{ V}$  和  $0.76$ ，最终获得了 19.07% 的光电转换效率；采用 TLN（或 CB）作为抗溶剂的电池短路电流密度、开路电压、填充因子和转换效率依次为  $22.62 \text{ mA/cm}^2$ （ $23.5 \text{ mA/cm}^2$ ）， $1.1 \text{ V}$ （ $1.14 \text{ V}$ ）和  $0.74$ （ $0.76$ ）和 18.37%（20.14%）；上述结果表明基于 ANS 抗溶剂电池的总体性能略低于 CB，但优于 TLN。而在手套箱外，基于 ANS 抗溶剂电池性能依旧高于 TLN 电池，且与 CB 电池相当。更为关键的是，研究人员进一步设计优化，将 ANS、CB 作为抗溶剂和空穴材料溶剂制备钙钛矿电池，结果显示采用全非卤素溶剂 ANS 的钙钛矿电池获得了高达 20.53% 的效率，优于 CB 电池（20.4%），创下了全非卤素溶剂钙钛矿电池性能最高值。该项研究采用绿色环保的非卤素苯甲醚替代传统毒性的卤素溶剂，在维持电池高效光电转换性能的前提下，大幅提升了电池材料和制备过程的环保性，降低健康和环境风险，为钙钛矿电池产业化应用起到积极推动作用。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》<sup>7</sup>。

（郭楷模）

## 氟氧化物催化剂实现可见光驱动分解水产氢和 CO<sub>2</sub> 还原

光驱动催化分解水产氢和还原二氧化碳，在解决能源短缺和环境问题方面具有极大的发展潜力。然而，当前高效的光催化剂光响应范围过窄（主要局限在紫外波段），因此开发高效的可见光响应的催化剂成为光催化领域研究热点。由东京工业大学 Maeda Kazuhiko 教授课题组牵头的联合研究团队设计合成了全新的窄禁带烧绿

<sup>7</sup> Mozghan Yavari, Zonghao Liu, Longbin Qiu, et al. Greener, Nonhalogenated Solvent Systems for Highly Efficient Perovskite Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 2018, 1800504, DOI: 10.1002/aenm.201800177



石结构氟氧化合物 ( $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$ ) 催化剂, 具备了优异的可见光响应特性, 实现了可见光驱动分解水产氢和  $\text{CO}_2$  还原。研究人员首先按照一定化学计量比将氧化铅、氟化铅和氧化钛混合, 通过固态反应法制备了  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  化合物, X 射线衍射表征显示化合物为纯相的烧绿石结构, 扫描电镜测试表面化合物为纳米颗粒, 平均粒径在 2-10  $\mu\text{m}$  之间。莫特-肖特基曲线计算结果显示  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  的价带是 -1.62 eV, 平带是 0.78 eV, 即其带隙仅为 2.4 eV (光谱响应范截止点在 500nm), 具备了良好的可见光响应特性; 而相比水氧化电势 (0.25 eV),  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂平带电势为 0.78 eV, 即位置更负, 因此  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂完全满足水氧化和  $\text{CO}_2$  还原的电势差要求; 表明了  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂完全可以实现可见光驱动的水解产氢和  $\text{CO}_2$  还原。接着通过光还原在  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂表面沉积一层铂 (Pt) 纳米颗粒作为质子还原活性位点, 随后将 Pt 修饰的  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  与乙腈溶液、三乙醇胺和水混合, 置于可见光辐照下 ( $\lambda \geq 420 \text{ nm}$ ), 实现了可见光光解水产氢, 产氢效率为 0.1%, 且连续辐照 15 小时, 催化剂晶相和成分没有任何变化, 表明  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂能够在可见光辐照下实现稳定催化分解水产氢。进一步, 研究人员利用分子键合将双钌金属核心配体耦合到  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  表面, 实现了可见光辐照下  $\text{CO}_2$  还原成甲酸。上述结果表明,  $\text{Pb}_2\text{Ti}_2\text{O}_{5.4}\text{F}_{1.2}$  催化剂可以实现可见光驱动分解水产氢和  $\text{CO}_2$  还原, 但该新型催化材料目前还是存在缺点, 就是催化剂的表观量子效率较低, 产氢效率仅为 0.1%。因此, 下一步工作将致力于改进催化剂的合成工艺和表面的修饰, 增强催化性能, 提升产氢效率。该项研究设计合成了全新的双阴离子氟氧化合物催化剂, 实现了稳定可见光驱动分解水产氢和  $\text{CO}_2$  还原, 为清洁高效转化利用太阳能提供了新的技术路线。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》<sup>8</sup>。

(刘竞 郭楷模)

## 红磷填充包覆的碳纳米管负极增强电池性能和循环寿命

相比石墨, 磷负极的理论容量高达 2596 mAh/g, 近 7 倍于前者 (372 mAh/g), 同时还具备优异的倍率性能, 被认为是一种极具发展潜力的锂离子电池负极材料。然而, 磷的导电性差和体积膨胀较大会使电池容量迅速衰减, 致使电池循环性能较差, 成为磷负极材料实际应用的一大障碍。日本丰桥科学技术大学 Yoji Sakurai 教授课题组设计开发了全新的红磷填充包覆的碳纳米管 (P@DMWCNT) 负极应用于锂离子电池, 在大幅提升电池的放电比容量同时, 有效地改进了电池循环性能。首先为了克服红磷负极材料体积易于膨胀问题, 研究人员利用气相合成法制备了无纳米孔的红磷填充包覆的多壁碳纳米管 (MWCNTs) 复合物, 以利用 MWCNTs 的三维

<sup>8</sup> Ryo Kuriki, Tom Ichihara, Kenta Hongo, et al, A Stable Narrow-Gap Oxyfluoride Photocatalyst for Visible-Light Hydrogen Evolution and Carbon Dioxide Reduction. *Journal of the American Chemical Society*, 2018. DOI: 10.1021/jacs.8b02822

空间结构限制红磷负极的体积过度膨胀问题。与此同时，高导电性的 MWCNTs 也可以改善红磷导电性差的问题，因此红磷/多壁碳纳米管 (P/MWCNTs) 复合物是一种理想的负极材料。随后以 P/MWCNTs 为一种改进型负极材料应用于锂离子电池，即以 P/MWCNTs 为负极、锂钴氧化物为正极和溶有 1 mol/L 六氟磷酸锂 (LiPF<sub>6</sub>) 碳酸乙烯酯 (EC) 和碳酸二甲酯 (DMC) 混合液为电解质，对电池进行一系列的表征测试。透射电镜 (TEM)、能量色散能谱 (EDX) 和 X 光电子能谱 (XPS) 等一系列测试结果表明，经过充放电循环后，红磷被稳定地束缚在碳纳米管中，没有出现体积膨胀问题。此外实验结果还显示，充放电循环中，P/MWCNTs 负极表现出可逆现象，而这一反应过程可以归纳为方程式： $x\text{Li} + \text{P} \leftrightarrow \text{Li}_x\text{P}$ 。经过五十余次的充放电循环后，基于 P/MWCNTs 负极锂电池呈现出 850 mAh/g 的良好可逆容量，且库仑效率高达 99.9%，表现出增强的电池比容量和循环稳定性。研究人员设计开发了全新的红磷填充包覆碳纳米管负极应用于锂离子电池，在大幅提升电池的放电比容量前提下，有效地抑制了红磷负极的体积膨胀问题，改善了电池循环稳定性，为设计开发高性能的锂离子电池负极提供了新路线。相关研究工作发表在《*Journal of The Electrochemical Society*》<sup>9</sup>。

(罗卫 郭楷模)

---

<sup>9</sup> Tomohiro Tojo, Shinpei Yamaguchi, Yuki Furukawa, et al. Electrochemical Performance of Lithium Ion Battery Anode Using Phosphorus Encapsulated into Nanoporous Carbon Nanotubes. *Journal of The Electrochemical Society*, 2018, DOI:10.1149/2.0351807jes

## 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：[energy@whlib.ac.cn](mailto:energy@whlib.ac.cn)

微信公众号：CASEnergy

