

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：2016年全球能源投资再次下滑 电力投资首超油气
- 美国国家科学院评估认为 ARPA-E 机构运行效能良好
- DOE 加速推进太阳能发电技术研发
- 日本启动 700°C 先进超超临界火力发电镍基合金材料开发
- 全光谱太阳能电池理论转化效率可达 54%

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

IEA：2016 年全球能源投资再次下滑 电力投资首超油气……………2
美国家科学院评估认为 ARPA-E 机构运行效能良好……………7

项目计划

DOE 资助 4620 万美元加速推进太阳能发电技术研发…………… 10
DOE 资助 2000 万美元用于支持非常规油气开发…………… 13
日本启动 700℃超超临界火力发电用镍基合金材料开发项目 …… 13

前沿与装备

全光谱太阳电池理论转化效率可达 54%…………… 14
MXenes 助力开发超高倍率性能超级电容器…………… 14
新型高催化活性钙钛矿氧化物催化电极…………… 15
钠离子替代有效降低锂离子电池成本…………… 16

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《全球能源投资 2017》报告, 对全球能源行业的投资现状和趋势进行了分析: 2016 年全球能源投资总额下滑 12%, 从 2015 年的 1.9 万亿美元减少至 1.7 万亿美元, 连续第二年投资下滑。从行业来看, 2016 年能效领域投资上升了 9% 达到 2310 亿美元, 全球电力投资微弱下滑 1% 至 7180 亿美元, 上游油气投资的下降了 25% 至 6500 亿美元。从区域来看, 2016 年, 中国仍是全球最大的能源投资地区, 占到全球投资总额的 21%。印度的能源投资增长了 7%, 成为全球第三大能源投资国。东南亚新兴经济体能源投资在全球能源投资总额的占比超过 4%。美国在全球能源投资中的占比增加到了 16%, 高于欧洲。2015 年, 全球能源研发经费总额为 650 亿美元, 较 2014 年下降了 3%。

美国国家科学院发布了专题报告, 评估美国能源部先进能源研究计划署 (ARPA-E) 在履行国家使命和服务国家战略方面发挥的效能: ARPA-E 已经从最初的一个概念发展成为运作良好的组织, 并在实现其法定使命方面取得了明显进展。报告提出了 5 项关键建议, 旨在帮助 ARPA-E 持续强化机构效能, 更好地服务国家战略, 包括: (1) ARPA-E 应保持其独特和灵活的管理方法, 授权赋予主题计划主管进行积极的项目管理; (2) ARPA-E 主任和主题计划主管应制定和实施一个框架, 以衡量和评估该机构在实现其使命和目标方面的影响; (3) ARPA-E 应重新考虑其“技术到市场”计划, 以反映计划和执行者在所需的资金、商业化和部署途径方面的广泛差异性; (4) ARPA-E 应继续识别和支持具有未来发展潜力的项目, 从而推动变革性技术进步; (5) 能源部长应确保能源部内其他业务单元继续探索和采纳 ARPA-E 实践的要素, 以改善该部门的运作。

美国能源部 (DOE) 宣布在“SunShot”计划框架下资助 4600 万美元用于两个主题研究计划: 一是“太阳能电池模块和系统 (PVRD2) 开发”主题研究计划, 旨在开发革新的太阳能发电技术, 以进一步降低太阳能发电成本。二是“技术到市场 (T2M3)”主题研究计划, 旨在遴选有应用前景的太阳能技术, 降低处于创新初期太阳能技术商业化风险, 并帮助太阳能初创公司快速将可行的太阳能技术和概念投向市场, 以进一步降低太阳能发电成本, 加速太阳能光伏发电并网。详见正文。

日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 宣布将于 2017-2019 财年资助 6.4 亿日元开展“700℃ 先进超超临界火力发电 (A-USC) 锅炉用镍基合金材料开发”研究项目, 开发出适用于 700℃ 以上的持久耐高温镍基合金锅炉材料, 将超临界火力发电效率提升至 46%, 减少碳排放量, 完善 700℃ 先进超超临界火力发电技术, 为该技术于 2020 年迈向商业化奠定技术基础。

乔治华盛顿大学 Robert J. Walters 教授课题组将双结聚光太阳能电池与商用的三结砷化镓 (GaAs) 基太阳能电池进行组合, 构建出全光谱吸收的新型五结太阳能电池系统, 实验转化效率高达 41.2%, 理论转化效率可达 54%: 该项研究制备出了全光谱吸收的太阳能电池系统, 其能最大限度地捕捉太阳发出的各种光线, 为提高太阳能电池的性能提供了一条切实可行的道路。

IEA：2016 年全球能源投资再次下滑 电力投资首超油气

7月11日，国际能源署（IEA）发布《全球能源投资 2017》报告¹，对全球能源行业的投资现状和趋势进行了分析。报告指出，受到上游原油、天然气和光伏设备组件单位资本成本下降的影响，2016 年全球能源投资总额下滑 12%，从 2015 年的 1.9 万亿美元减少至 1.7 万亿美元，占全球 GDP 总值的 2.2%，连续第二年投资下滑。尽管如此，油气投资仍然占全球能源投资总额的五分之二。得益于可再生能源及电网方面的强劲投资，电力行业投资在 2016 年首次超过油气投资。报告要点如下：

1、2016 年全球能源投资情况概览

从行业来看，2016 年能效领域投资上升了 9%，电网行业投资增长了 6%，但这些增长被上游油气投资的下降（-25%）和发电投资的下滑（-3%）抵消了，主要是单位资本成本下降（特别是油气上游行业和光伏发电）引起投资下滑。电力行业首次成为吸引投资最多的行业，超过石油和天然气行业投资总和。

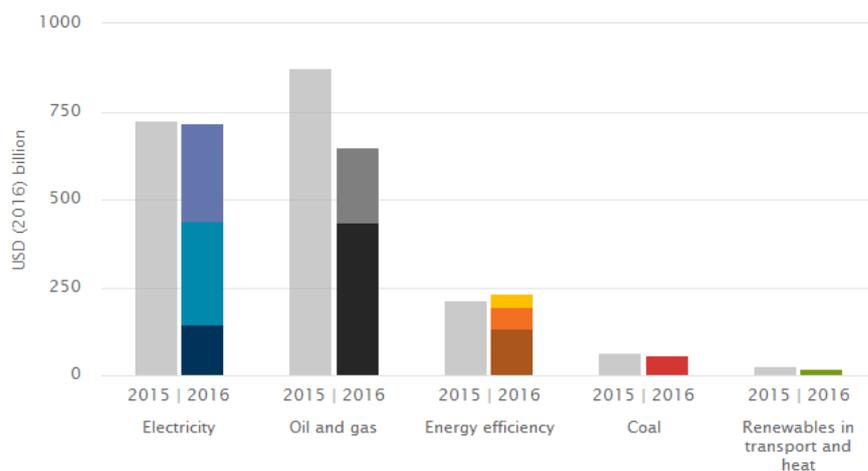


图 1 2015 和 2016 年能源不同行业投资对比（单位：十亿美元）

从区域来看，2016 年中国仍是全球最大的能源投资地区，占到全球投资总额的 21%，并且中国的能源投资组合正在发生显著变化。2016 年，燃煤电厂新建投产下滑了 25%，主要原因是中国政府加快低碳电力、电网和能效发展。印度的能源投资增长了 7%，成为全球第三大能源投资国，原因是政府强力推动和扩大电力系统现代化，增加电力供应。而东南亚新兴经济体能源投资在全球能源投资总额的占比超过 4%。尽管油气投资大幅下滑，但在可再生能源投资强劲的支撑下，美国在全球能源投资中的占比依然增加到了 16%，仍然高于欧洲，后者能源投资下滑了 10%。

¹World Energy Investment Executive Summary 2017.
<http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEI2017SUM.pdf>

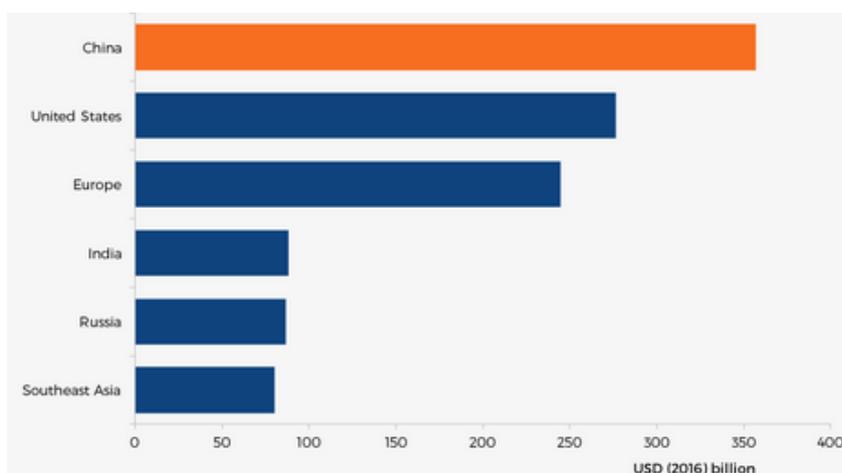


图 2 2016 年世界主要国家/地区能源投资对比（单位：十亿美元）

2、油气投资趋势

受到低油价的影响，2016 年全球油气的上游钻探与开采投资同比爆降 25% 至 6500 亿美元，较 2014 年的投资水平更是几近腰斩（-44%）；但进入 2017 年，上游投资开始逐渐反弹：美国页岩油投资增长了 53%；2017 年海上原油开采项目投标顺利结束后，墨西哥的上游投资也上升了；中东和俄罗斯等大型原油生产地区的投资增加则有望推动其上游投资在 2017 年反弹 3%。IEA 预计今年全球原油与天然气上游投资将温和上涨 6%。

油气上游资本成本将呈现不同趋势：在全球层面上，2017 年的成本预计将连续第三年下滑，主要是由于海外业务通货紧缩带动下滑，下滑幅度预计为 3%，低于 2015、2016 年下滑速率。美国页岩开采活动迅速回升，引起美国的页岩成本在 2017 年已经上扬了 16%，此前在 2015-2016 年曾几近减半。

3、电力投资趋势

2016 年，由于电网投资增加部分抵消了发电投资的下降，全球电力投资仅微弱下滑 1% 至 7180 亿美元，超过了油气投资总和。新增可再生能源电力投资为 2970 亿美元，较 2015 年下滑 3%，但仍是电力最大的投资领域。可再生能源投资比五年前下降了 3%，但由于太阳能光伏和风电的单位成本下降和技术的改进，可再生能源装机容量增加了 50%，且预计电力产出将增加 35%。

尽管印度的投资仍然高涨，但全球燃煤电厂的投资急剧下滑，致使新增燃煤发电装机容量减少了近 20 GW，主要是人们对空气污染问题以及部分市场（如中国）的产能过剩问题产生了担忧。一旦当前的燃煤电厂建设浪潮结束，2016 年全球投资的新增燃煤电厂装机容量预计仅为 40GW，意味着煤电投资将进一步放缓。

天然气发电投资依然强劲，其中大部分集中在北美、中东和北非等天然气资源丰富且廉价的地区。在欧洲，尽管根据几年前的投资决策，4 GW 天然气发电厂已经上线，然而退役的天然气发电厂容量却超过了批准新建的天然气发电厂。

2016 年，全球新增 10GW 核电装机容量，为过去 15 年来最高值，这是由多年前的投资决策所致。2016 年，开工新建的核电厂装机容量仅为 3GW，大部分位于中国，比前十年的平均水平低了 60%。

2016 年，电网和储能领域的投资保持了过去五年持续上涨的态势，达到了 2770 亿美元的历史新高。就电网而言，中国占电网投资总额的 30%，主要投资流向是电力配电网和大电网的扩张。印度和东南亚占 13%，该地区电网正在迅速扩张，以适应日益增长的电力需求。在美国（17%）和欧洲（15%），越来越多的老旧电力配电网和输电网将会被替代。总的来说，受到数字信息和通信技术的快速发展驱动，电网正在走向现代化，从纯电力供应业务转向到数据和服务集成的综合平台，数字信息通信技术在电网投资中的占比已经超过 10%。此外，电网规模电池储能投资快速增长，2016 年超过 10 亿美元。

4、能效投资趋势

尽管能源价格持续下滑，2016 年能效投资依然继续上涨，达到 2310 亿美元。尽管当前欧洲是能效投资最多的地区，但投资增速最快的是中国，主要原因是中国推行节能政策和推进能源结构多元化。在全球范围内，能效投资大部分（约 1330 亿美元）流向了建筑行业，该行业占能源需求总量的三分之一。

虽然新兴经济体的用电设备和家用电器的能效标准正在逐步提升，但仍有很大的改进空间。例如，2016 年销售的新型空调将使得全球电力需求增加 90 TWh，而单单印度就将大幅增加 10TWh，从而加剧了用电高峰负荷。但如果所有国家采用最高能效标准，这可能会降低 40% 的用电需求。

2016 年，热泵销售数量增长 28%，电动汽车（EV）销量增长 38%。这些技术有助于提高总体能源效率，如果他们能够与可再生能源部署协调发展则可以帮助供暖和交通部门进一步脱碳化，尽管目前它们对石油和天然气需求的影响很小。2016 年新售电动汽车 75 万辆，创历史新高，但预计仅会使交通运输石油需求量减少 0.02%。

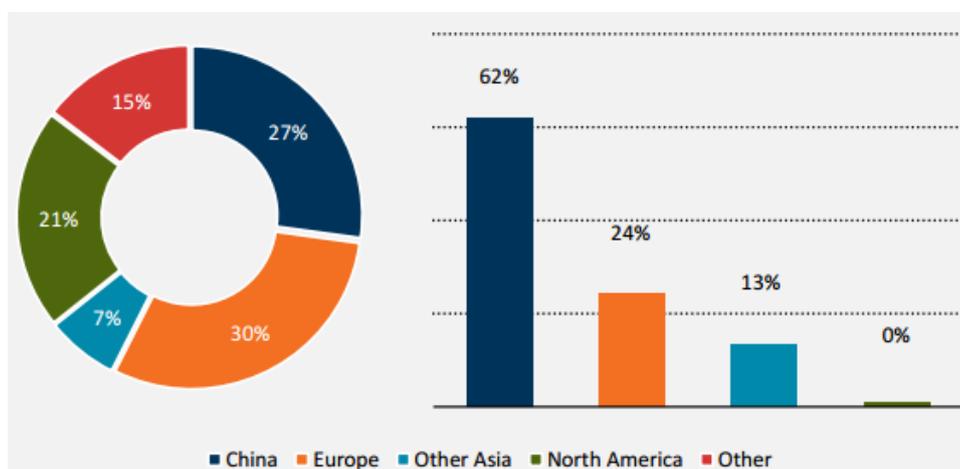


图 3 2016 年世界主要国家能效投资占比（左图）和增幅（右图）

5、能源投融资

超过 90% 的能源投资项目是投资者根据资产负债表来计划投资金额，表明可持续行业收益的重要性，这些收益是以能源市场和政策为基础的。尽管通过融资形式获得能源项目资金在全球能源投资总额中的占比仍然较小，但其对发电行业（尤其是可再生能源发电）发展推动作用日益增强，且该行业融资资金在过去 5 年已经增加了 50%。这反映出一些新兴经济体的发电项目风险降低和某些技术逐渐成熟。另外，依托提高股权和债务的新机制，如绿色债券和项目债券，投资者能够利用更大的融资渠道，如采用再融资和基金形式投资于能效和分布式发电等小规模项目。

虽然包括国有企业在内能源公共投资占比在 2016 年略有下降至 42%，但仍高于 2011 年的 39%，主要是由于国有企业在电力行业投资中的作用越来越大。特别是在中国，国家石油公司在油气上游支出方面扮演着更重要的角色，他们的投资占比从 2011 年的 39% 上升到 2016 年的 44%。2016 年，公共机构在发电投资中的份额高达三分之一，近期投资增速开始放缓但仍然处于上涨态势，而其在电网投资中的份额将近 70%。政府能效项目的投资占能效投资总额的 14%，主要采用贷款和招标竞争形式。

6、能源技术研发投资

2015 年全球能源研发经费总额为 650 亿美元，较 2014 年下降了 3%，2016 年则可能进一步下降。尽管能源创新的重要性获得了全社会的共识，但过去四年来，无论是传统的能源技术还是清洁能源技术的研发投入都没有增加。欧洲和美国是能源研发最大的投资国，均占到全球研发总额的 25% 以上，而中国在 2014 年超过日本之后，是能源研发投入占国内生产总值比例最高的国家。虽然公共和私人研发投入各自占据了研发总额大约一半，但大部分私营研发经费用于石油、天然气和火力发电，而大多数公共研发用于清洁能源技术。

2016 年碳捕集与封存（CCS）项目上线的数量是近四年来最少的年份，主要原因是缺乏资金，表明了目前的政策并不支持加大对这些长周期交付时间项目的支持。

数字技术在数据生成、处理和传播方面的作用已经成为能源行业讨论的核心。2016 年约有 470 亿美元投资于电力行业数字化的基础设施建设和软件开发，以提高电网运营的灵活性，实现实时的需求管理和可再生能源的高效整合。同时，石油和天然气行业正在扩大数字技术的利用率，以提高其运营绩效，同时保持成本的控制。

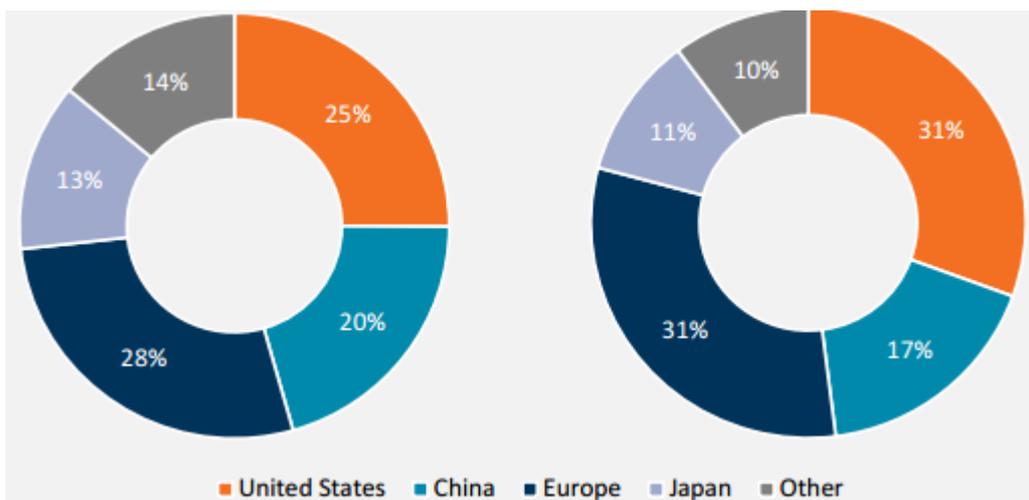


图 4 2015 年全球主要国家能源全领域（左图）和清洁能源领域研发投资占比（右图）

报告最后对能源投资变化对能源系统带来的影响进行了分析，并提出相关建议：

•**下滑的投资使得能源供应面临潜在的安全风险**

尽管自 2014 年以来，全球能源投资减少了 18%，但没有引起短期能源供应安全问题，表明市场紧张和产能过剩的风险在一定程度上下降。能源投资回落主要是由某些市场化石燃料供应和发电量过剩以及成本通货膨胀引起的。但石油和天然气上游活动减少以及近期常规油田制裁放缓至 70 年代以来的最低水平，可能导致近期供应紧张。鉴于现有油田的枯竭，即使假设石油开采技术和气候政策对石油需求的影响是正面的，传统油田投资回升的速度也需要加快，以避免供应紧张。

•**下滑的投资使电网现代化进程减缓**

持续致力于改善电力灵活性的投资，以确保用电高峰期电力的充足性，同时进一步提高风能和太阳能光伏的并网比例，这对能源安全至关重要。然而，目前尚不清楚今天的商业模式是否鼓励对灵活电力市场的必要投资。2016 年，全球批准通过的灵活发电和电网规模储能的装机容量下降到 130 GW，是十年来最低水平，这是由持续的监管不确定性和有缺陷的市场设计而导致的投资价格信号较弱引起的。这一装机容量几乎与 2016 年新增的光伏和风电装机容量总和（125GW）相当。2016 年电网投资增长 6%，尤其在数字技术方面，因为其在支持电网现代化和可再生能源整合方面发挥关键作用。因此需要制定新的政策和监管改革来强化改善电网灵活性的投资市场信号。

•**下滑的投资使得低碳发电装机发展放缓**

得益于对能效持续投入以及煤电转向气电和低碳发电技术发展，不仅二氧化碳排放连续三年持平，新增低碳发电项目（如核电、水电）的投资实际上也已经停滞不前。尽管过去五年，新增风电和太阳能光伏装机容量满足了电力需求增长的四分之三左右，但这一增长几乎完全被核电和水电投资决策放缓导致的装机容量下降所

抵消，两者在同一时间内装机容量比预期降低了一半以上。因此为满足电力需求增长，需要加大对新的低碳发电项目的投资力度，同时政府、私营部门也要增加清洁能源创新支出。

(郭楷模)

美国国家科学院评估认为 ARPA-E 机构运行效能良好

6月13日，美国国家科学院发布了专题评估报告，审查了美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）在履行国家使命和服务国家战略方面发挥的效能²。评估报告包括对机构资助计划的管理运营评估和对其资助项目成果的技术评估，报告指出，ARPA-E 已经从最初的一个概念发展成为运作良好的组织，并在实现其法定使命和目标方面已取得明显进展。考虑到成立时间较短且预算规模有限，要求该机构目前即完全实现其目标是不切实际的。更重要的是，在目前机构发展的早期阶段，评估没有发现 ARPA-E 有失败或将要失败的迹象。大约一半的支持项目已经在同行评审期刊上发表研究成果，约有 13% 获得了专利。四分之一支持的项目团队或技术已经获得用于持续工作的后续资金。不仅如此，有几个产品已经可以商业化或准备进入商业市场。委员会强调了最重要的五项评估结果，具体如下：

(1) ARPA-E 通过多方面衡量标准选择资助项目，选择过程中评估每个项目的潜力，从而为成功实现机构的目标做出贡献

大量证据表明，ARPA-E 已经建立了一个运行机制成熟的体系，专注于遴选和资助有利于实现该机构目标的潜在项目。该体系涉及多个阶段，在每个阶段 ARPA-E 均使用多因素分析过程对资助项目做出决策。这个过程会综合考量内部和外部评审人员的技术意见、申请人对这些意见的回应、申请技术内容的资金建议的全面评估、项目可行性分析以及其它非技术因素。这个过程涉及到跨技术类别和资助计划中的投资组合平衡等重要问题，着眼于确保具有充分多样化的遴选方法。这个过程与主要基于评审人员打分来遴选项目的其他机构区分开来，这些机构通常采取不允许机构或计划主管自行决定的严格限制。

(2) ARPA-E 主题计划主管有很大的权力制定具有潜在变革性的新技术主题计划

报告通过定性和定量的证据发现，ARPA-E 的主题计划主管有权力履行职责，包括机构授权法规中概述的职责。计划主管通过鼓励创新来创建新的技术主题计划，识别和促进革命性的技术进步，或将发现转化为技术创新的项目。这个过程涉及与 ARPA-E 主任、其他主题计划主管以及更广泛的学术界进行合作和评审，同时也鼓

² ARPA-E MAKING PROGRESS TOWARD ACHIEVING MISSION, SAYS NEW ASSESSMENT.
[HTTP://WWW8.NATIONALACADEMIES.ORG/ONPINNEWS/NEWSITEM.ASPX?RECORDID=24778&_GA=2.203487894.709815143.1499360421-1663879781.1496454594](http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?recordid=24778&_ga=2.203487894.709815143.1499360421-1663879781.1496454594)

励追求被其他资助机构所忽视的想法以及确实具有创新性的想法。

(3) ARPA-E 主题计划主管通过技术研究指导和反馈积极参与到项目中，定期评估技术进展情况，并根据新的研究发现对技术开发节点进行修改

在项目的整个生命周期中，从项目申请评审、资助谈判到项目完成，主题计划主管均进行积极的项目管理。他们与项目执行人员密切合作制定技术开发节点，并根据团队在研究过程中的新发现进行修改。主题计划主管与项目执行人员经常沟通和讨论项目的技术方案，并根据最新的结果进行协作修改。他们与执行人员合作，通过研究过程中获得的数据在适当的时候修改其研究方案。这种变化涵盖从协议、技术或项目节点的微小修改到重要项目的重组或改变方向。主题计划主管甚至可以建议人事变动，以及与执行人员合作进行遴选和招聘合格的人员或分包商。此外，当项目持续无法取得进展，并且将来也不太可能完成时，主题计划主管会建议 ARPA-E 提前终止资助。

(4) ARPA-E 资助的项目支持其法定使命和目标

ARPA-E 是为了实现长期的环境、安全和竞争力目标而创立的。它的主要功能是资助和管理该机构以外的实体进行研究和开发，而不是进行自己的研发活动。由于该机构的任务是寻求变革性技术进步，所以必须利用新的运行模式来实现目标。评估结果表明，ARPA-E 发挥了良好的机构效能，无须重大改革。如果对 ARPA-E 施加压力让其展现短期成功而不是专注于长期任务和目标，将很有可能损害该机构努力和实现其使命与目标的潜力。

(5) 虽然 6 年的时间对于广泛部署的资助技术还不足以充分展示效果，但有明显迹象表明，ARPA-E 正在朝着法定使命和目标迈进

从这些事实可以得出两个重要的结论：首先，ARPA-E 的管理在 3 年资助期内不仅对技术产生短期影响，同时催生了变革性技术。其次，经过 6 年的运作，目前只有 3 年的完成项目才能作为 ARPA-E 使命和目标进步的证明。这两个结论需要考虑到 ARPA-E 的影响以及与该机构的使命和能源技术市场动态的现实情况相一致的持续时间，并且需要系统收集可用于识别和监测有利于实现技术全面影响的更好的数据。

根据评估结果，报告提出了五项关键建议，旨在帮助 ARPA-E 持续强化机构效能，更好地服务国家战略，具体如下：

(1) ARPA-E 应保持其独特和灵活的管理方法，授权赋予主题计划主管进行积极的项目管理

ARPA-E 主题计划主管有权根据该机构的使命在项目选择中承担风险，使 ARPA-E 能够资助相对风险较高的项目。报告建议 ARPA-E 努力保持这种管理方式，使主题计划主管有更多的权力，制定新的有变革性潜力的技术主题计划，并使他们

能够通过技术研究指导和反馈积极地管理项目，定期对新的研究进展进行评估。

(2) ARPA-E 主任和主题计划主管应制定和实施一个框架，以衡量和评估该机构在实现其使命和目标方面的影响

ARPA-E 建立了完善的项目数据收集和记录保存系统，以跟踪和监测内部指标，并促进积极的计划管理。该机构有能力制定一个框架，用于从主题计划创建、项目选择和管理到成功实现目标的前瞻性项目数据绘制。该机构可以将其强大的项目度量数据库与方案目标相结合，包括短期和长期商业和非商业结果的指标，并将这些目标与标准化、可观测的创新指标联系起来，然后将这些指标转化为实现机构级任务目标的进程。设计和实施这样的框架可以使机构处于自我评估的最前沿，最终改善其工作成果。为了以最好的服务机构的方式来开发和实施这一框架，需要授予 ARPA-E 主任及工作人员具有自主权，根据自身直接经验运营机构和管理项目。

(3) ARPA-E 应重新考虑其“技术到市场”(T2M)计划，以反映计划和执行者所需的资金、商业化和部署途径方面的广泛差异性

新能源技术的充分验证通常需要几十年的时间，且相对于其他技术领域需要大量的资金。将技术转化成商业产品还需要更多的时间，ARPA-E 项目大约 3 年的时间框架太短，不足以将技术概念转向市场。鉴于该机构不断努力发展和改进其对 T2M 计划的方法，报告鼓励进一步发展这种方法，同时警告不要过度扩张。例如，ARPA-E 应充分考虑 T2M 项目的可选择性，鼓励最有可能受益的执行者（如学术界）来开发这些项目，但要求执行者描述潜在的产品应用方式，以证明其技术可行性。它还可以为执行者提供可能影响未来产品市场的关键非技术因素的信息或研究，例如监管风险和其他商业市场风险以外的常见风险。

(4) ARPA-E 应继续识别和支持具有未来发展潜力的项目，从而推动变革性技术进步

ARPA-E 的基本组织特征包括鼓励其主题计划主管寻求潜在的高影响力计划，并认识到其许多项目只会产生有价值的知识，而不会产生商业化产品。保持这种专注将是 ARPA-E 未来面临的巨大挑战之一。随着能源技术图景的演变，不能保证 ARPA-E 将始终保持追求以新颖的或远未开发的高风险、潜在变革性技术和研究途径为特征的文化。ARPA-E 的领导和能源部长应积极努力维护这种文化。在具有变革性潜力的技术和其他被忽视的宝贵技术机遇之间，ARPA-E 应该继续平衡其总体投资组合。

(5) 能源部长应确保能源部内其他业务单元继续探索和采纳 ARPA-E 实践的要素，以改善该部门的运作

虽然 ARPA-E 的一些方法可能难以转化为其他业务单元所用，但是在探索其适应性和适用性方面还是有很大的好处。尤其是利用主题计划主管的建设性参与来聚

焦计划重点，给计划管理人员提供运营自由度和计划的承担风险导向。能源效率和可再生能源局已经将 ARPA-E 的几种方法纳入其管理计划，包括使用研讨会来界定方案，使用概念文件来筛选资助申请人，以及提前终止表现不佳的项目。其他能源部业务单元也表示有兴趣尝试采用这些方法。能源部长应鼓励和授权这些单元探索和采取合适的做法。

(吴勘 郭楷模)

项目计划

DOE 资助 4620 万美元加速推进太阳能发电技术研发

7月12日，美国能源部（DOE）宣布在“SunShot”计划框架下资助4600万美元用于两个主题研究计划³，旨在开发创新的太阳能发电技术，提高光电转换效率和发电技术稳定性，从而进一步降低成本。

(1) “太阳能电池模块和系统（PVRD2）开发”主题研究计划

旨在开发革新的太阳能发电技术，包括全新的电池制造工艺开发、新型太阳能电池模块设计、太阳能光伏系统的快速安装技术等，以进一步降低太阳能发电成本。PVRD2 研发计划主要关注四大主题领域，具体内容参见表 1。

表 1 PVRD2 项目具体内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
太阳能小型创新项目	<ul style="list-style-type: none"> 开发新的方法减少或消除生产高效太阳电池所需的昂贵基板材料用量，如开发涂覆有单层石墨烯的单晶基板来降低成本 开发一种称为 M-CELL 的全新太阳电池架构，以实现比传统模块更高的电压和更低的电流 为钙钛矿太阳电池开发新型高性能、廉价的空穴传输材料，以解决成本、疏水性和稳定性方面的挑战 基于固态/半导体物理知识的基础，研究阳离子部分取代，缺陷、双钙钛矿材料对卤化物钙钛矿太阳电池性能的影响 探索新型无掺杂剂的非对称异质结晶硅太阳电池制造工艺 开展隧穿氧化层钝化接触硅电池研究，即利用原子层沉积（ALD）技术在钝化层表面沉积一层隧穿势垒薄膜，能够选择性地输送电子或空穴 开发新型的钙钛矿太阳电池器件结构，解决钙钛矿电池现有的化学稳定性、热稳定性和空气稳定性差以及机械性能差的问题 致力于声波辅助硅片剥离技术开发，通过使用声波来锐化和促进剥落过程中的裂纹形成，从而解决缺陷，硅片厚度和表面平整性问题 	220

³Energy Department Announces \$46.2 Million for 48 Projects to Advance Solar Power Technologies.
<https://energy.gov/articles/energy-department-announces-462-million-48-projects-advance-solar-power-technologies>

	<ul style="list-style-type: none"> • 利用电镀技术制备双层铝电极，替代硅太阳能电池中的银电极，以降低加工成本、提高模块的可靠性和寿命，并保持电池高效率 • 利用共升华的方法制备高载流子迁移率和寿命的碲镉合金 (CdTe)，研究材料组分、缺陷对其性能的影响 • 采用先进的光谱工具来探索 p 型直拉单晶硅中的氧化硼缺陷形成机理，挖掘抑制该缺陷的方法并提高电池效率 	
先进电池模块设计与制备	<ul style="list-style-type: none"> • 采用新近设计的表面粘合工艺，改进全背电极接触 (IBC) 晶硅太阳能电池模块的正负两极金属接触制作工艺，将相关工艺流程简化 50% 以上，以降低电池模块制造的成本 • 针对钙钛矿电池/硅电池串联新工艺，研究作为顶电池的钙钛矿电池材料需要的特性和带隙结构 • 开发新型的太阳能电池模块单元的互连技术，以提高模块效率，从而降低太阳能发电成本 • 开发新型的电池封装材料和工艺，以提高薄膜光伏电池的寿命和稳定性 • 研究晶硅太阳能电池板由于龟裂导致性能下降和寿命缩短的潜在原因，从而通过新电池板结构的设计来改善电池板易于脆裂的特性，提高电池寿命 • 研究活性金属油墨的材料和生长特性，以探索其作为硅太阳能电池金属电极的潜在应用前景，以期减少贵金属银的用量，降低电池成本 • 开发新的太阳能光伏模块和太阳能系统，将电池板对流热交换系数至少提高 40%，以降低太阳能电池板的工作温度，从而提高电池输出能量，延长电池寿命 	740
电池模块表征、建模和分析	<ul style="list-style-type: none"> • 利用计算机建模来研究钝化发射极背面接触太阳能电池在光照下性能老化的物理机制，从而开发新电池结构延长电池寿命和保障电池性能 • 开发全新的太阳能电池表征手段，以实现在电池运行状态下的实时非接触式的电流-电压测量 • 利用光时域反射仪来监测光伏电厂运行状态，最大限度地提高能源输出，降低能源成本，提高可靠性 • 开发数据平台收集海量的太阳能电池测试数据，为提高光伏系统的性能和可靠性奠定数据基础 • 开发一种高空间分辨的表征方法，以检测光伏模块中存在的水的位置和数量，并对其引起的电池界面性能下降进行表征 • 开发一种基于 X 射线技术的全新纳米级分辨率的测量工具，可在多种工作条件下对碲化镉和铜铟镓硒电池进行性能表征 • 开发一种高度自动化的计量解决方案，可以无损地提取封装完毕的光伏组件内的单个电池的串联电阻数据，减少由于接触和互连故障引起的故障数量，抑制由于接触老化引起的性能降解 • 开发用于现场运行的光伏系统性能表征的新方法，以便在其生命周期中提高能量输出率和延长寿命。开发数据分析和解释算法的新方法，评估不同光伏系统表征方法的差异性 	910

光伏系统快速部署技术	<ul style="list-style-type: none"> 研究光伏电站电弧闪光产生机理，为光伏企业提供解决方案奠定理论基础 研究用于将传统框架和玻璃模块固定在沥青瓦上的非穿透性粘合剂安装界面，来降低光伏系统的安装成本 	180
------------	--	-----

(2) “技术到市场 (T2M3)” 主题研究计划

旨在遴选有应用前景的太阳能技术，降低处于创新初期太阳能技术商业化风险，并帮助太阳能初创公司快速将可行的太阳能技术和概念投向市场，以进一步降低太阳能发电成本，加速太阳能光伏发电并网。T2M3 研发计划关注四大技术主题，具体内容参见表 2。

表 2 T2M3 项目具体内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
聚光太阳能热发电	<ul style="list-style-type: none"> 针对聚光太阳能热发电塔的熔盐热能存储设施研究开发降低成本的策略 研究使用碳酸镁材料的新型热化学储能系统，用于开发下一代聚光太阳能热发电系统 使用玻璃镜面空间框架开发一种新型集热器，用于聚光太阳能热发电系统 	460
太阳能大数据运营和管理平台	<ul style="list-style-type: none"> 开发先进的大数据分析决策引擎，以降低公用事业规模太阳能项目的运营和维护成本 为住宅太阳能项目开发性能管理和自动化运行维护平台 将研究小型的数据驱动的精算模型，通过减轻信贷风险，从而推进商业太阳能市场的扩张 开发针对中低收入业主的大数据分析算法，通过物业评估清洁能源 (PACE) 融资方案，将太阳能与其他家庭改善项目相结合 开发北美能源标准委员会 OpenESPI 数据托管实施，供太阳能光伏供应商采用以降低公共事业太阳能项目成本 开发在线太阳能市场，使消费者能够自由选择太阳能设备、融资和安装选项 开发算法和软件集成，以从现有光伏系统收集实际数据替代非精确的光伏系统仿真 研究在光伏系统通信里面采用数据网络的新概念，降低断电率，降低维护成本 开发用于配电网监控应用的低成本、耐用的表面声波无线 (SAW) 接口设备 	960
晶硅太阳能电池	<ul style="list-style-type: none"> 为公用事业规模的聚光太阳能项目开发先进的氮化镓基逆变器架构 研究光伏组件中高品质单晶硅带的悬浮区熔法制备工艺 为光伏组件开发低成本、耐用性高的电极背接触技术 开发用于太阳电池制造中的单晶硅锭的脆性断裂技术 开发一种新型的晶硅光伏面板悬挂技术，该技术使用张紧钢丝绳 	500

	来降低车辆太阳能部署的材料需求和成本	
薄膜太阳能电池	<ul style="list-style-type: none"> • 将有机光伏材料与商业窗户进行无缝整合 • 研究钙钛矿光伏材料中的缺陷形成，以提升制备工艺为商业化发展奠定基础 • 针对钙钛矿太阳能电池开发快速的卷对卷印刷技术，以降低制造成本 	650

(郭楷模)

DOE 资助 2000 万美元支持非常规油气技术开发

6月21日，美国能源部（DOE）宣布资助2000万美元用于开展非常规石油和天然气技术开发项目⁴，以提高油气井的采收率，防止海上溢油和泄露，发展更环保、更安全以及更灵活的美国家能源基础设施，确保国内和国际石油、天然气供应的环境可持续性，提高经济竞争力和国家能源安全。本次资助项目将主要关注两个主题领域，具体内容如下：

(1) 技术验证和地下环境监测技术（资助金额：1800 万美元）

依托先进的地下环境监测技术，完善对非常规石油和天然气储层物理特性了解，分析石油钻井过程中钻井参数之间的关系及对钻井过程的影响作用，以提高页岩气、致密油和致密砂岩气勘探开采效率，使其更具成本效益和环保。

(2) 海上溢漏和泄漏预防项目（资助金额：200 万美元）

重点研究近海油气泄漏及预防措施。旨在开发创新的解决方案以预测地质灾害技术，利用相关技术降低开采风险和预防、应对海上原油泄漏事故。

(吴勘 郭楷模)

日本启动 700°C 先进超超临界火力发电镍基合金材料开发项目

6月1日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布资助6.4亿日元开展“700°C先进超超临界火力发电（A-USC）锅炉用镍基合金材料开发”研究项目⁵，旨在对镍基合金的高温蠕变或高温持久强度、高温烟气腐蚀性能、高温蒸汽氧化性能、疲劳性能等进行大量的试验，以及对镍基合金的制造和加工工艺、大口径镍基合金厚壁无缝钢管焊接技术进行研究并验证开发材料的性能，以开发出适用于700°C以上的持久耐高温镍基合金锅炉材料，将超超临界火力发电效率提升至46%，减少碳排放量，完善700°C先进超超临界火力发电技术，为该技术于2020年迈向商业化奠定技术基础。

⁴ DOE to Invest \$20 Million in New Oil and Gas Research Projects.

<https://www.energy.gov/articles/doe-invest-20-million-new-oil-and-gas-research-projects>

⁵700°C級蒸気に耐えられるニッケル基合金の信頼性向上を目指す技術開発に着手。

http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100777.html

NEDO 此次启动的研究项目将由东芝公司、新日本制铁公司、日本中央电力研究所、日本富士电机公司、三菱日立电力系统有限公司等联合开展，项目始于 2017 年，为期 3 年。

(郭楷模)

前沿与装备

全光谱太阳能电池理论转化效率可达 54%

现有太阳能电池因自身材料的限制大多只对短波段的紫外光、可见光敏感，而对长波段的红外光利用率较低，无法实现太阳光的全光谱利用。因此，开发一种新型太阳能电池系统，充分实现对紫外光、可见光和红外光全谱段的吸收利用将有助于大幅提升太阳光转化率。乔治华盛顿大学 Robert J. Walters 教授课题组将双结聚光太阳能电池与商用的三结砷化镓 (GaAs) 基太阳能电池进行组合，构建出全新的五结太阳能电池系统，实现了对太阳全光谱的吸收利用，转化效率高达 41.2%，理论转化效率可达 54%。研究人员首先利用计算机仿真构建了全新的多结太阳能电池系统模型，由负责吸收红外光的锑化镓 (GaSb) 基双结太阳能电池和三结 GaAs 基太阳能电池组成。在 1000 倍的聚光条件下，整个系统转化效率可达 43.2%，如果不考虑反射等引起的光损失，则整个模拟系统的理论转化效率可达 54%。基于上述模拟结果，研究人员首先利用分子束外延的方法制备了 GaSb 基双结聚光太阳能电池，随后通过转移喷涂工艺将其与商品化的三结 GaAs 基太阳能电池组合，形成四端点接触的五结叠层太阳能电池系统。量子效率测试结果显示，全新的五结电池系统的光谱响应范围极广，覆盖了 250 nm 到 2500 nm 的光谱区域(这一区域太阳辐照占太阳光辐射在地球表面光谱的 99%)，即实现了全光谱的太阳光利用。室外电流电压谱线测试结果显示，在 1000 倍的聚光条件下，单独的三结 GaAs 基太阳能电池转化效率仅为 39.66%，而全新的五结电池系统的转化效率突破了 40%，达到 41.2%。该项研究制备出了全光谱吸收的太阳能电池系统，其能最大限度地捕捉太阳发出的各种光线，为提高太阳能电池的性能提供了一条切实可行的道路。相关研究工作发表在《*Advanced Energy Materials*》⁶。

(郭楷模)

MXenes 助力开发超高倍率性能超级电容器

二维过渡金属碳化物/氮化物 (MXenes) 具备导电性高、扩散系数低、较高的比电容和良好的柔韧性等优点，被广泛应用于锂电池、超级电容器等能量存储器件领域，是极具应用前景的新生代储能材料。德雷塞尔大学 Yury Gogotsi 教授课题组开

⁶ Matthew P. Lumb, Shawn Mack, Kenneth J. Schmieder, et al. GaSb-Based Solar Cells for Full Solar Spectrum Energy Harvesting. *Advanced Energy Materials*, 2017, 1700345, DOI: 10.1002/aenm.201700345.

发了全新多孔 MXenes 电极，应用于超级电容器中，大幅降低了器件内阻，增强了电子的扩散，大幅提高了器件倍率性能，在 10V s^{-1} 的扫描速率下，可获得高达 210F g^{-1} 体积比电容，为迄今为止倍率性能最高的超级电容器。研究人员首先通过氟化锂-盐酸溶液腐蚀的方法制备了 3 微米厚度的平面结构 MXenes 电极材料 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜，随后在该电极表面涂覆一层水凝胶（水凝胶载入量为 1.2 mg cm^{-2} ，有助于改善离子导电性，）形成水凝胶 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜电极，应用于超级电容器，并以硫酸作为电解质。电化学性能测试结果显示，在 2 mV s^{-1} 扫描速率下，电容器的质量比电容可达 380 F g^{-1} ，而体积比电容更是高达 1500 F cm^{-3} ，是迄今为止体积比容量最高的超级电容器电极材料；更为关键的是经过 10000 次的循环后，电容容量保持率超过 90%，表现出极其优异的稳定性。但提高扫描速率到一定程度后（超过 20mV s^{-1} ），基于水凝胶 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜电极电容器性能就出现大幅衰退，这主要是平面结构的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜电荷和离子传输通道受限所致。为了克服上述问题，研究人员改进工艺制备了三维多孔结构的水凝胶 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 电极。电化学性能表征结果显示，在 10 mVs^{-1} 、 10V s^{-1} 和 40 s^{-1} 扫描速率下，基于三维电极的电容器的质量比电容为依次为 310F g^{-1} 、 210 F g^{-1} 和 100 F g^{-1} ，表现出了前所未有的高倍率性能。该项研究制备了三维结构超级电容器电极，并引入高导电性的水凝胶增强了电极性能，进而获得了具有超高倍率性能的超级电容器器件，在电动汽车、便携式穿戴设备等领域具有广阔的应用前景。相关研究工作发表在《*Nature Energy*》⁷。

（郭楷模）

新型高催化活性钙钛矿氧化物催化电极

固体氧化物燃料电池（SOFC）具有良好的稳定性、燃料适用范围广、低排放，以及相对较低成本等优势，受到科研人员的广泛关注。韩国蔚山科学技术大学（UNIST）Guntae Kim 教授带领的研究团队开发了全新的高效廉价的阳极催化电极，应用于 SOFC，增强了电池性能和寿命。研究人员利用过渡金属（Mn, Co, Ni 和 Fe）的溶质析出方法在层状钙钛矿氧化物镨钡铜氧（ $\text{PrBaMn}_2\text{O}_{5+\delta}$ ）上自生长纳米颗粒。其中，层状钙钛矿表面上溶出的 $\text{Co}(\text{PrBaMn}_{1.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_{5+\delta})$ 和 $\text{Ni}(\text{PrBaMn}_{1.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_{5+\delta})$ 纳米粒子表现出高效性催化活性和良好的长期稳定性。使用 $\text{PrBaMn}_{1.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_{5+\delta}$ 和 $\text{PrBaMn}_{1.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_{5+\delta}$ 阳极在加湿氢气（ H_2 ）中 800°C 下工作，获得最大功率密度分别为 1.15 和 1.12 W cm^{-2} ，是其他陶瓷阳极的两倍。 $\text{PrBaMn}_{1.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_{5+\delta}$ 在常压 0.6 V ， 700°C 的条件下连续工作 200 h 电流密度保持恒定无衰减：燃料为丙烷时电流密度约为 18 mA cm^{-1} ，以氢气为燃料时电流密度约 260 mA cm^{-1} 。研究发现，Co 和 Ni 在层状钙钛矿中都有很高共分离能（ 0.55 和 0.50 eV ），促进 Co 和 Ni 金属溶出表面上形

⁷ Maria R. Lukatskaya, Sankalp Kota, Zifeng Lin, et al. Ultra-high-rate pseudocapacitive energy storage in two-dimensional transition metal carbides. *Nature Energy*, 2017, (6): 17105.

成纳米颗粒。利用密度泛函理论(DFT)计算研究发现层状钙钛矿中过渡金属的溶出机制, 揭示了钙钛矿 B 位金属和氧空位的共分离对过渡金属的溶出发挥了核心作用。该研究工作发现了钙钛矿结构中的过渡金属 (Mn, Co, Ni 和 Fe) 溶出工作机制, 并利用该机制设计开发了高催化活性的钙钛矿氧化物催化电极, 增强了电池的性能。对碳氢化合物为燃料的固体氧化物燃料电池的商业化进程具有良好的推动作用。相关研究工作发表在《*Nature Communications*》⁸。

(朱好婷 郭楷模)

钠离子替代有效降低锂离子电池成本

锂离子电池以其能量密度高、使用寿命长、无记忆效应等优异性能广泛应用于手机、笔记本电脑和电动汽车等领域, 但是锂是一种稀有资源、价格高昂, 导致锂电池产品成本居高难下。德克萨斯大学达拉斯分校 Kyeongjae Cho 教授课题组与韩国首尔大学研究人员联合开发了全新的含有 Mn、Na 元素的正极材料, 在保持电池性能的前提下, 大幅降低了电池成本。为了开发用于钠离子电池的高能量密度正极材料, 研究人员利用 Li_2MnO_3 的氧化还原反应发现了低成本、高容量的新型钠、锰掺杂的锂锰氧电极 ($\text{Na}(\text{Li}_{1/3}\text{Mn}_{2/3})\text{O}_2$), 利用其不稳定的二价氧电子在嵌入过程进行补偿, 新材料的层状结构还包含锰和氧。研究人员基于 Li_2MnO_3 的 Li 位置中 Na 的位置偏好考虑了 Li/Na 混合焓, 通过第一性原理计算了 $\text{Na}(\text{Li}_{1/3}\text{Mn}_{2/3})\text{O}_2$ 电极应用于电池的性能。研究人员使用阴离子氧化还原反应 ($\text{O}^{2-} / \text{O}^-$) 模拟该氧化锰具有高氧化还原电位 ($\approx 4.2\text{V}$ 相对于 Na / Na^+) 和高放电比容量 (190 mAh g^{-1}), 计算模拟的正极材料性能通过实验合成、表征和循环性能测试验证。实验结果显示钠取代了正极材料中的大部分锂, 而使用锰代替了较贵和较稀有元素的钴和镍, 该钠离子材料更加稳定, 还保持了锂的高能量容量。该项研究通过对常规的锂锰氧电极氧化还原反应机理研究, 设计了新型的钠离子部分替代的新型廉价高效正极材料, 维持了电池的性能前提下降低了成本, 有助于电池的商业化发展。相关研究工作发表在《*Advanced Materials*》⁹。

(罗卫 郭楷模)

⁸ Ohhun Kwon, Sivaprakash Sengodan, Kyeounghak Kim, et al. Exsolution trends and co-segregation aspects of self-grown catalyst nanoparticles in perovskite. *Nature Communications*, 2017, doi:10.1038/ncomms15967.

⁹ Duho Kim, Maenghyo Cho, Kyeongjae Cho. Rational Design of $\text{Na}(\text{Li}_{1/3}\text{Mn}_{2/3})\text{O}_2$ Operated by Anionic Redox Reactions for Advanced Sodium-Ion Batteries. *Advanced Materials*, 2017, 1701788, DOI: 10.1002/adma.201701788.

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

电话：（027）87199180

电子邮件：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

