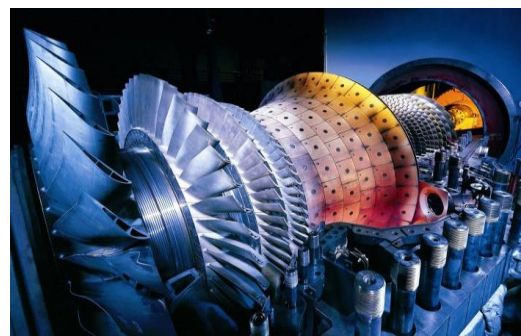


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：未来 5 年全球煤炭需求持续疲软 市场前景黯淡
- 英国发起弃用煤炭全球联盟引领全球逐步停用煤炭
- ARPA-E 资助 1 亿美元支持变革性能源技术开发
- 有机胍阳离子助力钙钛矿太阳能电池实现超千小时稳定运行

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



《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: 未来 5 年全球煤炭需求持续疲软 市场前景黯淡	2
英国发起弃用煤炭全球联盟引领全球逐步停用煤炭	5

项目计划

ARPA-E 资助 1 亿美元支持变革性能源技术开发	6
DOE 资助 1200 万美元开发太阳能光伏发电预测技术	8
DOE 资助 550 万美元开发先进燃气轮机	9

前沿与装备

有机胍阳离子助力钙钛矿太阳电池实现超千小时稳定运行	9
钛酸锂水合物电极助力提升锂电池倍率性能和循环寿命	10
新型多吡啶钌络合物光敏剂实现近红外光驱动光解水制氢	11
美科学家揭露富锂层状氧化物可逆氧变价机理	12

本期概要

国际能源署（IEA）发布《煤炭中期市场报告 2017》指出，2016 年全球煤炭需求连续第二年下滑，同比下降 1.9%。未来五年全球煤炭需求料将持续疲软态势，市场前景不甚乐观。报告从全球和地区层面分析了煤炭市场发展现状，并对未来五年煤炭市场供需关系变化、贸易和价格走势进行了预测分析：2016 年，全球煤炭消费需求同比下降 1.9%至 53.57 亿吨，连续第二年下滑，主因是可再生能源应用增加、天然气价格走低和能效提升。未来 5 年，煤炭需求将持续低迷态势，其在全球能源结构中的份额预计将从 2016 年的 27%下降到 2022 年的 26%。到 2022 年，全球煤炭需求量预计达到 5.53 亿吨，仅略高于当前水平，意味着煤炭消费需求正处在十年停滞期。未来 5 年，欧洲的煤炭市场需求将日益衰退，相反，亚洲的煤炭需求将持续增长；与此同时，煤炭价格将持续保持高位震荡态势。政府和能源行业的相关领导人达成了一个广泛的共识，没有 CCUS 技术，全球将面临更加严峻的气候挑战。更为关键的是，如果没有 CCUS，未来煤炭的使用将受到严重的制约。

英国在德国波恩《联合国气候变化框架公约》第二十三次缔约方大会（COP23）上发起“弃用煤炭全球联盟”，旨在联合各国政府、企业和民间组织力量，共同推动全球从依赖煤炭为主体的能源体系向清洁现代能源体系转型。为了起到表率作用，并实现以一种可持续、经济的方式逐步淘汰煤炭，英国制定了具体行动方案包括：（1）政府合作伙伴承诺在其管辖范围内逐步淘汰现有的传统燃煤电力，并暂停在没有开展碳捕集与封存的情况下新建任何传统燃煤发电厂；（2）企业和其他民间组织合作伙伴承诺，在不使用燃煤发电的情况下为他们的运营提供支持；（3）所有合作伙伴均承诺，通过各自的政策（无论是政府还是企业）和投资来支持清洁能源发展，以及在没有进行碳捕集与封存的情况下限制传统煤炭能源的融资。详见正文。

美国能源部（DOE）先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助 1 亿美元用于变革性能源技术开发，将通过数十个早期研发项目为美国顶尖的创新者提供支持，资助项目涵盖 7 大主题，包括：可再生能源和非可再生能源发电，电力传输、储存和分配，可再生能源和非可再生燃料的生产和分配，建筑、制造业、商业和个人使用的能源效率，交通电气化以及交通能源效率。详见正文。

美能源部（DOE）宣布资助 1200 万美元用于支持国家实验室、大学和太阳能相关企业联合开展高精度太阳能光伏发电预测技术研发项目，重点关注三大主题领域，包括：（1）开源测试框架开发；（2）太阳能辐照度预测模型开发；（3）先进预测技术与能源管理系统耦合解决方案；旨在设计开发先进太阳能物理模型提升太阳能光伏发电预测技术的时间和空间分辨率，解决太阳能发电波动性问题，从而以更可靠和经济合理的方式集成更多的光伏电力，优化电网结构和调度，促进电网现代化。

瑞士洛桑联邦理工学院 Mohammad Khaja Nazeeruddin 教授课题组最新的研究发现：将有机胍离子（Gua, CH_6N_3^+ ）引入到有机无机钙钛矿晶体中以替代部分的有机阳离子，不仅保持了钙钛矿电池高效率，同时显著提升了电池的稳定性，使其在连续光照情况下稳定运行超过 1000 小时，使得钙钛矿电池向商用目标又迈进了一步。

IEA：未来 5 年全球煤炭需求持续疲软 市场前景黯淡

12 月 18 日，国际能源署（IEA）发布《煤炭中期市场报告 2017》¹指出，受到天然气强势崛起、可再生能源广泛部署和能效提升的影响，2016 年全球煤炭需求连续第二年下滑，同比下降 1.9%。未来五年全球煤炭需求料将持续疲软态势，市场前景不甚乐观。报告从全球和地区层面分析了煤炭市场发展现状，并对未来五年煤炭市场供需关系变化、贸易和价格走势进行了预测分析，要点如下：

1. 全球煤炭市场现状和走势

（1）煤炭消费需求将出现十年停滞态势

2016 年，全球煤炭消费需求同比下降 1.9%至 53.57 亿吨，连续第二年下滑，主因是可再生能源应用增加、天然气价格走低和能效提升。自 2014 年以来，煤炭需求已经下降了 4.2%，几乎与 1990-1992 年间的降幅相当，这是自 IEA 在 40 多年前开始编制煤炭市场统计数字以来的最大两年降幅。2016 年，尽管印度和其他亚洲国家煤炭消费需求增长了，但难以弥补美国、中国（需求连续第三年下降）和英国（需求下降超过 50%）等主要煤炭消费大国大幅下滑产生的缺口。在美国，煤炭在电力行业的主导地位受到了低油价的侵蚀；在中国，由于政策日益注重环境保护，使得工业和住宅领域的煤炭使用量减少，致使煤炭需求下降；而在英国，近期引入的碳交易价格下限则进一步加速了电力行业的脱碳化进程，迫使煤炭需求下滑。

未来 5 年，煤炭需求将持续低迷态势，其在全球能源结构中的份额预计将从 2016 年的 27%下降到 2022 年的 26%。到 2022 年，煤炭需求增长主要集中在印度、东南亚和亚洲其他一些国家。而在全世界几个主要的煤炭消费大国/地区（欧洲、加拿大、美国和中国等），煤炭需求预计呈现结构性下降态势。综上考虑，到 2022 年全球煤炭需求量预计达到 5.53 亿吨，仅略高于当前水平，需求年均增长率仅为 0.5%，意味着煤炭消费需求正处在十年停滞期。尽管在 2016 -2022 年间，燃煤发电量预计将以年均 1.2%的增幅增加，但到 2022 年，其在电力结构中所占比重将会下降到 36%以下，是 IEA 有记录以来的最低水平。

（2）欧洲煤炭需求日益衰退，亚洲需求则持续增长

整个欧洲大部分地区的煤炭需求前景黯淡。由于波兰和德国占欧盟煤炭消费量的一半以上，因此未来欧洲煤炭需求变化走势将深受这两国的影响。在波兰，预计到 2022 年需求将保持稳定。在德国，尽管核电逐步被弃用，但煤炭需求也将下降；并且随着德国愈加转向可再生能源政策，煤炭需求预计加速下滑。在欧洲，随着越来越多的国家关闭或正在关闭燃煤电厂，煤炭在其能源结构中的份额日渐式微。波

¹ Coal 2017 Analysis and Forecasts to 2022. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/coal2017MRSsum.pdf>

兰以外的欧洲境内其他地区无烟煤产量到 2022 年预计下降到边际水平；对于少数依赖燃煤发电的国家，褐煤生产仍然意义甚大，但随着电力清洁化，需求一样呈现下滑趋势。

与欧洲情形相反，亚洲地区煤炭需求预计持续增长。由于面临能源严重短缺且塔尔褐煤地区煤炭储量巨大，巴基斯坦在未来几年将加大国内煤炭开发以及国外进口以满足全国的电力需求。2016-2022 年间，预计巴基斯坦煤炭需求将翻四番，其中消费量的一半将来自进口。孟加拉国也计划扩大燃煤电力容量，但预计发展规模有限。阿联酋打算在迪拜建造中东第一座大型燃煤电厂。尽管上述亚洲地区煤炭需求将持续增长，但与当前的煤炭消费大国相比增长幅度较为微弱：到 2022 年，巴基斯坦和孟加拉国的煤炭消费总和仅仅占印度煤炭消费量的 5% 左右。

(3) 煤炭价格持续高企且波动剧烈

2017 年第一季度动力煤价格从 2016 年底的高位回落至 70 美元/吨(欧洲价格)。但此后，中国市场收紧以及部分供应中断事件推动煤炭价格上涨，动力煤价格在 2017 年 9 月达到 95 美元/吨。焦煤现货价格则出现了更加剧烈的波动现象，在飓风黛比袭击澳大利亚昆士兰州之后，价格在三周内几乎翻了一番，在 2017 年 4 月达到了 290 美元/吨（澳大利亚离岸价格）。而到 6 月份则跌破 140 美元/吨，到了 9 月份焦煤价格转而上涨，超过 200 美元/吨，主要原因是中国需求强劲。

煤炭价格剧烈波动态势预计将持续下去。受到中国市场变化的影响（无论是政策还是经济环境），考虑到其庞大的经济规模 and 在全球贸易中的主导地位，全球煤炭市场动荡不定。一旦发生供应中断，这种波动性将被进一步放大。因此煤炭价格走势在很大程度上仍将依赖于中国市场；因此，中国煤炭行业的结构性改革是煤炭价格演变的关键决定因素。出口国家中，印度尼西亚值得特别关注，由于该国扩大内需，加之国内生产增长等制约因素，可能会加剧市场紧张程度，推高价格。在需求方面，中国、印度、韩国和日本的进口水平是主要的不确定因素。

(4) 未来煤炭贸易充满不确定性

过去几年东北亚（日本、韩国和中国台北）的稳定进口需求为煤炭出口国提供了一个舒适的水平，但现在这种情形已经不在。在日本，电力需求低迷、可再生能源快速部署以及潜在的核电增长都将导致煤炭需求下降。但是，这与目前正大规模依赖燃煤发电的国家情况不一样。在韩国，政府正试图减少煤炭在电力组合中的份额，但政府又刚刚完成了超过 5 GW 燃煤电厂建设工程，而另外 4 GW 工程正在建设之中。在中国台北，新的燃煤电厂即将上线开建。

尽管价格上涨，煤炭开采投资仍然不景气。2015 年，由于煤炭开采成本下降幅度达到极限，且煤炭价格上涨，导致降低成本紧迫性下降。虽然煤炭近期价格上涨受到生产商的欢迎，但由于经历过 2013-2015 年的低价期，生产商保持谨慎，开采

投资行为无明显变化。

尽管印度和韩国市场上升潜力巨大,但到 2022 年,煤炭海运贸易量将有所减少。市场普遍认为目前煤炭高价格是由于中国政策导致的,并非市场规律,而这不利于投资者的信心。考虑到市场不确定性和预期的价格波动,除了中国和印度(需要保证燃煤发电以满足经济发展需求),其他国家对煤炭生产的大量资本支出兴趣有限。

2. 区域性煤炭市场现状和走势

(1) 中国煤炭消费需求下降 但仍是主要的能源资源

正如中国国务院总理李克强做出的承诺“让中国的天空再次变蓝”,中国政府正在大力实施环保政策,以加快解决燃煤发电造成的污染问题。尽管煤炭发电量有所增加,但与 2014、2015 年相同,中国的煤炭需求在 2016 年再次下降,主要原因是中国正在大力实施煤改气政策,而电力、钢铁和水泥等主要煤炭消费行业的能源效率提升也是潜在的驱动因素。

治理环境污染,改善空气质量已成为中国政府实施政策优先考虑事项,由此预计住宅和工业部门(钢铁和水泥除外)目前使用的一亿多吨煤将被天然气替代。加上重工业需求增长饱和,预计到 2022 年煤炭需求将保持下降态势。尽管如此,到 2022 年,中国的能源需求中煤炭占比仍然超过了 55%。

一个有竞争力、有盈利能力和安全的煤矿部门对中国经济至关重要。尽管保持中国煤炭行业盈利能力以及提高煤矿生产安全是近期的政策重点,但提升煤炭行业竞争力是避免中国经济负担的另一个中期目标。低生产力煤矿的关闭和兼并运输效率提升将推动成本下降,但将被地质条件恶化、劳动力膨胀和运输距离增加所抵消。产能过剩是需要解决的另一个问题,同时要考虑到矿山关闭和失业造成的全社会和地区影响。

(2) 印度煤炭需求持续增长

尽管可再生能源快速增长,但印度的煤炭使用量将继续增长。尽管燃煤发电容量不断增长,但印度的燃煤发电容量还无法满足全国电力需求的 60%。受到电力需求增长强劲驱动,到 2022 年印度燃煤发电量预计将以年均近 4%的速度增长。除电力行业以外,由于经济快速发展使得工业领域的动力煤需求同样呈现强劲需求增长态势;此外受钢铁消费、住房、铁路、钢铁密集型行业(如造船、国防、汽车制造等行业)的发展也拉动炼焦煤需求增长。

与去年的报告相比,今年报告大幅下调了对印度动力煤进口的预测,主要原因是政府采取了降低进口依赖的措施。国营 Singareni 煤炭公司、印度煤炭公司的自主开采和商业开采(如果有的话)动力煤产量对印度实现其雄心勃勃的削减煤炭进口目标将发挥重要作用。但对于质量问题难以克服的炼焦煤来说,预计到 2022 年,年均进口量增幅将达到 5%以上。

（3）美国煤炭需求持续增长

2017 年，美国煤炭行业市场情绪较为乐观。一方面，联邦政府采取的措施（复兴美国煤炭产业）给该行业带来乐观。与此同时，国内天然气价格上涨带动电力行业煤炭用量增加，而国际煤炭价格上涨则推动了煤炭企业的出口和收入。自 2011 年以来，美国新建的第一个煤矿已于 5 月份开始上线投产，其他项目也正在加紧建设当中。然而，低迷的电力需求、丰富的天然气资源和可再生能源的广泛部署预计将继续挤压煤炭的市场空间，从而抑制新建燃煤电厂的复苏前景。因此，预计到 2022 年，美国的煤炭产量将达到 5.12 亿吨，与当前水平相当，而需求则下降到 4.7 亿吨，年均降幅达到 1%。

美国是国际煤炭市场主要供应商，但其未来的供应情况充满了不确定性。2017 年，煤炭进口需求增长和价格上涨导致美国出口增加，但随着价格的回落，出口也将有所下降。预计到 2022 年，澳大利亚仍将是最大的煤炭出口国。俄罗斯、哥伦比亚和南非的出口将略微增加，但印度尼西亚则会出现下滑。而美国出口水平的不确定性将是所有主要煤炭出口国中最高的。

3. 推进碳捕集、利用和封存技术（CCUS）发展是关键

CCUS 是应对全球气候变化的关键技术之一，各国政府需要制定相关政策予以支持并加大研发力度。2017 年，CCUS 发展取得重大进展，世界上最大规模的 CCUS 项目佩特拉诺瓦（Petra Nova）投入运营，标志着 CCUS 技术进入新时代。但总体而言，CCUS 技术的进展还是远落后于其他低碳技术。为此，来自政府和能源行业的相关领导人达成了一个广泛的共识，即需要采取积极措施加大对 CCUS 技术发展支持力度。没有 CCUS，全球将面临更加严峻的气候挑战。更为关键的是，如果没有 CCUS，未来煤炭的使用将受到严重的制约。

（郭楷模）

英国发起弃用煤炭全球联盟引领全球逐步停用煤炭

11 月 16 日，英国和加拿大在德国波恩《联合国气候变化框架公约》第二十三次缔约方大会（COP23）上联合发起“弃用煤炭全球联盟”²，旨在联合各国政府、企业和民间组织力量，共同采取行动，承诺制定各自煤炭淘汰目标，推动世界从依赖煤炭为主体的能源体系向清洁现代能源体系转型。为了起到表率作用，并实现以一种可持续、经济的方式逐步淘汰煤炭，英国制定了清洁能源计划和目标，具体行动方案包括：

（1）政府合作伙伴承诺在其管辖范围内逐步淘汰现有的传统燃煤电力，并暂停

²Climate Change Minister Claire Perry launches Powering Past Coal Alliance at COP23.
<https://www.gov.uk/government/news/climate-change-minister-claire-perry-launches-powering-past-coal-alliance-at-cop23>

在没有开展碳捕集与封存的情况下新建任何传统燃煤发电厂。

(2) 企业和其他民间组织合作伙伴承诺，在不使用燃煤发电的情况下为他们的运营提供支持。

(3) 所有合作伙伴均承诺，通过各自的政策（无论是政府还是企业）和投资来支持清洁能源发展，以及在没有进行碳捕集与封存的情况下限制传统煤炭能源的融资。

英国将努力通过 COP24 将联盟成员扩大到 50 个合作伙伴，以继续向更安全的气候、更健康的人民和清洁的经济发展，领导世界其他国家致力于结束煤炭发电。英国政府正准备推出其旗舰产业战略，以实现经济增长，同时利用其优势，把握清洁增长和技术变革的机遇。新的联盟将与企业、民间社会和政府合作，提供技术和实际的帮助，加速从煤炭向清洁能源的转变。尽管并非所有国家都能以相同的速度彻底淘汰煤炭发电，英国致力于在 2025 年之前完全淘汰燃煤电厂项目，并希望其他国家效仿。为了保持低于《巴黎协议》中的 2℃ 目标，到 2030 年，全球经合组织国家需要淘汰煤炭发电，到 2040 年全球使用量需要减少三分之二。

英国煤炭转型的部分原因来自于可再生能源的成本效益，例如，英国目前海上风电的成本只有两年前的一半。自 1990 年以来，英国的排放量减少了 42%，而经济增长了 67%，很大程度上是由于煤炭消耗减少了 85%。然而，仅靠国内行动是不够的，还需限制国外煤炭项目融资。英国政府早在 2014 年宣布，除了极少数情况，将终止对海外新建燃煤电厂公共融资的支持。

（吴勘 郭楷模）

项目计划

ARPA-E 资助 1 亿美元支持变革性能源技术开发

12 月 13 日，美国能源部（DOE）先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助 1 亿美元用于变革性能源技术开发³，将通过数十个早期研发项目为美国顶尖的创新者提供支持，资助领域包括可再生能源和非可再生能源发电，电力传输、储存和分配，可再生能源和非可再生燃料的生产和分配，建筑、制造业、商业和个人使用的能源效率，交通电气化以及交通能源效率。具体研究内容如下：

在电网领域，将研究电力传输系统（>69 千伏）以及电网配电系统（≤69 千伏）技术的规划和运行，包括交流和直流系统；电网建模、软件、算法和控制，包括电网的规划、运营或市场；电网规模储能的电池技术；用于电网规模储能的非电池技

³Department of Energy Announces \$100 Million Open Solicitation for Transformative Energy Projects.
<https://energy.gov/articles/department-energy-announces-100-million-open-solicitation-transformative-energy-projects>

术，如抽水蓄能、压缩空气、飞轮等；在突发事件中保持电网稳定性的技术，尤其是在增加可再生能源或分布式发电的情况下。

在交通运输领域，主要研究替代汽油/柴油的非生物燃料制造技术；用于交通运输业的能够改进内燃机和其他发动机类型(例如涡轮机)的技术；用于交通运输改进的电动汽车技术和燃料电池技术；先进或可替代的车辆设计关键技术，例如超轻型汽车、先进零部件、新的汽车设计和建筑等；交通管理、自动驾驶汽车技术，以及其他先进的交通管理方案；交通用电力电子技术，包括半导体材料、基板、电路拓扑、磁性材料、电感器、介电材料、电容器、晶体管、器件包装等的技术，以及应用于交通运输业的电子系统优化；先进飞机、人力车辆、船舶、火车等非机动车交通技术；为广泛的汽车应用提供改进的电池技术，包括混合动力电动汽车(HEVs)、插电式混合动力车(PHEVs)和纯电动车(EVs)；应用热储能和非电池储能技术，如超级电容器和其它专门用于交通运输业的技术。

在建筑能效领域，主要有新热电联产(CHP)设计方案的相关技术研究；提高建筑供热和制冷系统效率的技术研究；需求响应和管理技术，例如智能电表；其他建筑节能技术，例如自动控制系统等；通过建筑设计提高能源效率，适用于窗户、隔音、屋顶等的技术以及节能环保的先进照明技术。

在化石能源和核能领域，包括通过化石燃料的利用改进涡轮发电机；与使用化石燃料发电相结合的改进的燃料电池研究；加强核裂变、核聚变或材料的技术研发，提高核能发电的安全性；碳捕集、利用与封存的相关技术研发；改善化石燃料发电计划和运行的技术；能在发电中节约大量用水的技术，例如水回收和再循环系统。

在可再生能源发电领域，将研究地热能技术，包括泵、支撑剂、诱导地震、增强型地热系统(EGS)、钻井、资源识别(传感器、模型、示踪器)、区域隔离技术、强大的设备以及低温发电等；用于捕获或转换诸如海洋、渗透、潮汐等流体动力能源的技术，以及用于水资源识别和建模的技术；以及太阳能光伏/聚光光伏系统技术，包括材料、电池结构、光学太阳能聚光器、可以将光转换成电力或燃料的平衡部件以及太阳能电池其他技术。

在生物质能领域，主要研究提高生物质能特性的技术，以增加产量和可持续性，降低生产和用水成本；用生物制剂在一个或多个主要步骤将原料转化为燃料的技术以及对供应链发展至关重要的技术，例如原料收集和处理。

此外，还包括可应用于多个领域的热能存储技术；提高大型计算机、数据中心和计算基础设施能源效率的技术；不限于热电、斯特林发动机、换转热器、废热转换、触底循环、热捕获方法、材料、装置等的热回收技术；设计用于承受极高温度的材料，以实现新的能源生产的技术；便携式电源应用技术，如压电、便携式燃料电池等。

(吴勘 郭楷模)

DOE 资助 1200 万美元开发太阳能光伏发电预测技术

12 月 19 日，美国能源部（DOE）宣布在“提升太阳能预测精度”主题下资助 1200 万美元用于支持国家实验室、大学和太阳能相关企业联合开展高精度太阳能光伏发电预测技术研发项目⁴，旨在设计开发先进太阳能物理模型提升太阳能光伏发电预测技术的时间和空间分辨率，即通过向电网提供关于太阳能光伏电站在何时、何地能够发多少电能的准确预测，解决太阳能发电波动性问题，从而以更可靠和经济合理的方式集成更多的光伏电力，保障电网的稳定性和灵活性，优化电网结构和调度，促进电网现代化。本次资助项目将重点关注三大主题领域，包括：（1）开源测试框架开发，（2）太阳能辐照度预测模型开发，（3）先进预测技术与能源管理系统耦合解决方案，具体内容参见表 1。

表 1 太阳能发电预测技术研发项目具体内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
开源测试框架开发	•利用开源的 PVLib 仿真软件开发一个测试框架，以及一套透明的规则和度量标准，以实现太阳辐射和净负荷预测模型性能进行对比评估	100
太阳能辐照度预测模型开发	•利用吸收性气溶胶模型，云层微观物理学以及不确定因子量化技术来开发一套整合太阳能发电预测功能的天气预测模型，以增强日内（24 小时内）和日间（48 小时内）太阳能发电预测的精度 •开发基于混合自适应输入模型单元的目标选择综合模型，以提高太阳辐射和云量预测精度 •基于整合太阳能发电预测功能的天气研究和预报系统开发新型的日间云量预测系统，提高电网运营商日内（24 小时内）和日间（48 小时内）太阳能发电预测的精度 •利用整合太阳能发电预测功能的天气研究和预报系统，提升多云天气下太阳能辐照度的预测精度	580
先进预测技术与能源管理系统耦合的解决方案	•针对三个不同运营环境下的公共光伏发电项目开发增强型的太阳能光伏发电和净负荷概率预测模型，将该模型整合集成到调度管理平台来验证该模型的预测性能，评估概率预测来降低集成成本的潜力 •设计新颖的算法来创建太阳能电力概率预测模型并自动将其整合到电力运营系统中，该模型具备了自适应容量调节功能，即能够根据气象和电力系统运行状态动态调整光伏发电量储备水平，实现太阳能发电出功最佳调度 •基于大数据驱动 IBM Watt-Sun 平台（该平台是整合了并行计算、快速数据管理技术以及基于多专家机器学习模型功能），开发短时（数个小时内）和日间太阳能发电概率预测模型，将该模型耦	520

⁴ Department of Energy Announces \$12 Million to Advance Early-Stage Solar Research.
<https://energy.gov/articles/department-energy-announces-12-million-advance-early-stage-solar-research>

DOE 资助 550 万美元开发先进燃气轮机

11 月 16 日，美国能源部（DOE）宣布资助 550 万美元用于涡轮机关键部件、超临界二氧化碳（SCO₂）动力循环和先进的模块化混合热发动机研发⁵，旨在通过开发适用于化石燃料的先进高效涡轮机技术来支持 DOE 先进煤炭和电力系统目标，包括煤制合成气、煤制氢和天然气。研究方向主要包括 3 个领域，具体内容如下：

（1）先进的联合循环燃气轮机。将支持先进燃烧式涡轮机关键部件的研发，使联合循环效率超过 65%，并达到满足现代电网需求的负载跟踪能力。寻求提高涡轮入口温度的部件、技术和方法，减少泄漏，增强压缩机和膨胀机的空气动力学性能，提高高温负载下燃烧系统的性能，同时降低氮氧化物等污染物的排放，从整体上提高联合循环应用中燃气轮机的效率。

（2）基于超临界二氧化碳（SCO₂）循环的 CO₂ 稀释富氧燃烧涡轮机开发。基于 SCO₂ 的半封闭回收布雷顿周期（阿拉姆循环），支持先进和高效的富氧燃烧式涡轮机的早期开发。在此循环中，几乎纯氧在高温高压下与气态烃燃料（来自煤的合成气或天然气）混合燃烧，燃烧过程中采用二氧化碳稀释，从而产生一种高温高压的超临界二氧化碳涡轮工作流体。

（3）为化石能源的应用开发基于涡轮机技术的模块化混合热发动机。与现有技术相比，这种新型模块化混合动力发动机将提供更清洁、高效和更好的负载能力。其目标是开发适当尺寸的模块化热发动机，以便能够根据需要设计出更大的尺寸，创建可以在工厂里制造的先进热发动机。同时提供满足电力需求的灵活性、更有效的电力或机械动力、更好的负载跟踪能力和经济的电力成本。

（吴勘 郭楷模）

前沿与装备

有机胍阳离子助力钙钛矿太阳能电池实现超千小时稳定运行

有机无机杂化钙钛矿太阳能电池凭借其较高的效率、简单工艺和低廉的成本，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，稳定性差、寿命短成为了该电池技术走向商业化应用的一大障碍。瑞士洛桑联邦理工学院 Mohammad

⁵Department of Energy Announces up to \$5.5 Million for Advanced Turbine Technology Projects.
<https://energy.gov/fe/articles/department-energy-announces-55-million-advanced-turbine-technology-projects>

Khaja Nazeeruddin 教授课题组最新的研究发现，将有机胍离子（Gua, CH_6N_3^+ ）引入到有机无机钙钛矿晶体中以替代部分的有机阳离子，不仅保持了钙钛矿电池高效率，同时显著提升了电池的稳定性，使其在连续光照情况下稳定运行超过 1000 小时，使得钙钛矿电池向商用目标又迈进了一步。研究人员将碘化甲胺、胍盐、碘化铅混合溶于二亚甲基亚砷溶液中形成钙钛矿前驱体，随后通过旋涂法制备了有机胍离子部分替代的双阳离子钙钛矿 $\text{MA}_{1-x}\text{Gua}_x\text{PbI}_3$ （X 表示引入的胍离子摩尔量）。X 射线衍射表征显示，引入大半径胍阳离子（ CH_6N_3^+ ）后，钙钛矿晶体衍射峰发生左移动，即晶体结构发生膨胀，也即 CH_6N_3^+ 确实部分替代了甲胺离子的位置。通过对双阳离子钙钛矿 $\text{MA}_{1-x}\text{Gua}_x\text{PbI}_3$ 密度泛函理论研究发现，引入有机胍离子 CH_6N_3^+ 后，钙钛矿晶体的容忍因子（容忍因子与钙钛矿晶体结构稳定性相关）得到改善至 1.03，接近理想的容忍因子范围（小于或者等于 1），意味晶体的稳定性会得到显著改善。随后研究人员将制备的 $\text{MA}_{1-x}\text{Gua}_x\text{PbI}_3$ 、 MAPbI_3 钙钛矿薄膜用于组装电池器件以分析有机胍离子 CH_6N_3^+ 对电池性能的影响。研究发现，无胍离子添加的钙钛矿 MAPbI_3 的电池稳态平均转换效率为 17%，效率最优可达 18.88%；而采用含有胍离子 CH_6N_3^+ 的双阳离子钙钛矿 $\text{MA}_{1-x}\text{Gua}_x\text{PbI}_3$ 薄膜电池稳态平均转换效率为 19.2%，最高值可达 20.15%，这主要是引入胍离子 CH_6N_3^+ 后，钙钛矿晶体结构得到了改善，使得载流子的抽取效率更高。更为关键是的，采用新型双阳离子钙钛矿 $\text{MA}_{1-x}\text{Gua}_x\text{PbI}_3$ 薄膜电池呈现出极其优异的稳定性，在 60°C 、1 个标准太阳光模拟光源连续照射下，电池可以稳定运行 1000 小时以上，且效率始终维持在 19% 以上，按照每上升十度，电池标准促进因子增加 2 来换算，这相当于在室温工作环境（ 25°C ）下连续运行 8000 多小时。如果假定电池每天接受 6 小时日照，或平均辐照度 250Wm^{-2} 来算，相当于连续运行 1300 余天，即大概 3 年半使用寿命，满足了太阳电池使用标准。该项研究利用有机胍离子来部分替代甲基胺铅碘钙钛矿中阳离子成分，大幅改善了钙钛矿电池器件的性能稳定性，为制备高效稳定的钙钛矿电池提供了新途径，推进其商业化进程。相关研究成果发表在《*Nature Energy*》⁶。

（李明月 郭楷模）

钛酸锂水合物电极助力提升锂电池倍率性能和循环寿命

目前大部分锂离子电池采用电解质是有机电解液，而电解质中的六氟磷酸锂（ LiPF_6 ）是一种遇水易分解的物质，因此应用于锂离子电池的电极材料都需要在高温（ 500°C 以上）下煅烧来充分除水。然而高温煅烧会导致电极材料发生晶粒粗化和团聚不可逆副反应，导致电池性能下降。针对上述问题，麻省理工学院 Ju Li 教授研

⁶ Alexander D. Jodlowski, Cristina Roldán-Carmona, Giulia Grancini, et al. Large guanidinium cation mixed with methylammonium in lead iodide perovskites for 19% efficient solar cells. *Nature Energy*, 2017, 2 (12): 972-979.

究团队联合阿贡国家实验室研究人员设计合成了全新的钛酸锂水合物电极材料，能够在低温下即可实现较为充分除水，避免了电极材料不可逆副反应的产生，同时固定在电极材料晶体内部的“结晶水”作为骨架促进了电极两维层状结构的形成，增强了离子的传输，大幅提高了器件倍率性能，在 35℃（放电电流为 4000 mA g⁻¹）高倍率下，可获得高达上万次循环寿命且电池容量衰减速率极低。研究人员首先通过水热法制备了钛酸锂水合物（Li_{1.81}H_{0.19}Ti₂O₅ · 2H₂O，LTH）产物，扫描电镜显示该产物为两维的纳米片状。随后对 LTH 进行热重分析，结果显示产物主要存在三个主要温度台阶，分别为 50-130℃（对应物理吸附水去除温度）、130-190℃（对应结晶水去除温度）和 190-400℃（对应相转变温度）。对不同温度区间的产物表征显示，在 350℃ 以下，产物为含有结晶水的两维层状复合纳米片材料（命名为含水复合物[HN]）；当温度超过 400℃ 后，产物转变为三维纳米复合材料，且不含任何水分（命名为脱水复合物[DN]）。接着分别以 HN 和 DN 为电极组装电池进行对比研究，结果显示，含有结晶水的 HN 电极性能更优，在 1-2.5V 窗口电压区间、4000 mA g⁻¹ 充放电电流下，电池获得了 130 mAh g⁻¹，100 秒内便可充满电，且循环 10000 多次后，仍可维持初始容量的 86%，即平均单词循环容量衰减速率仅为 0.001%，展现出极其优异的倍率性能和循环稳定性；相反，同样条件下 DN 电极经过 500 次循环后，电池放电比容量便大幅下降至不到 20 mAh g⁻¹，而 1000 次后，电池容量彻底丧失。该项研究设计合成了新型的钛酸锂水合物电极，通过优化脱水煅烧反应温度，获得了理想的纳米结构，增强了电池的倍率性能和循环寿命，为设计和开发高性能的电极提供了新途径。相关研究工作发表在《Nature Communications》上⁷。

（李明月 郭楷模）

新型多吡啶钌络合物光敏剂实现近红外光驱动光解水制氢

利用太阳能驱动催化剂分解水制氢是理想的能源发展方向。然而，过去几十年研究的光催化材料只能利用占太阳光总能量仅 4% 的紫外光，因此开发具有更宽光谱响应范围的催化剂是光解水制氢的热点方向之一。日本九州大学研究人员设计合成了一种三联吡啶钌络合物光敏剂[Ru₃(dmbpy)₆(μ-HAT)]⁶⁺（（dmbpy = 4,4'-二甲基-2,2'-联吡啶，HAT = 1,4,5,8,9,12-六氮杂苯并菲），能够高效地利用近红外波段光谱实现光解水制氢。提升三联吡啶钌金属催化剂光谱响应方法主要有两种：一是提升多重顺式-钌（bpy）2 型发色团之间的轨道杂化程度，通过将它们与可促进相对较强的电子偶联的多核配体偶联来减少最高占据轨道-最低占据轨道（HOMO-LUMO）间隙。另一种是通过构建以多发色团为中心的聚苯乙烯（PS）来提高 PS 的摩尔吸光系数，如绿色植物中的多种光捕获色素。而新型的[Ru₃(dmbpy)₆(μ-HAT)]⁶⁺光敏剂

⁷ Shitong Wang, Wei Quan, Zhi Zhu, et al. Lithium titanate hydrates with superfast and stable cycling in lithium ion batteries. *Nature Communications*, 2017, DOI: 10.1038/s41467-017-00574-9

就是采用基于后者方案设计合成的，其对大于 800nm 的长波段近红外光谱有着高效的吸收特性。同时在 400-800nm 光谱范围内， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 显示出宽的金属-配体电荷转移跃迁 ($^1\text{MLCT}$) 吸收带，即在对可见光也具备良好的吸收能力，与 $[\text{R}(\text{bpy})_3]^{2+}$ ($^1\text{MLCT} = 400\text{-}500\text{nm}$) 相比，甚至具有更高的吸收率。此外，含时密度泛函理论计算证实了 $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 在 500nm 以上的宽 $^1\text{MLCT}$ 谱带为 $\text{d}(\text{Ru}) \rightarrow \pi^*(\text{HAT})$ 跃迁。随后研究人员以聚乙烯吡咯烷酮 (PVP) 保护的铂胶体作为催化剂，在近红外光照 (700-800nm; 干涉滤光片, R70) 下，含有 1.0M 抗坏血酸 (Asc^-) 的缓冲液 (pH 4.1)， Asc^- 作为电子供体， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 作为光敏剂组建光催化体系获得了转化数 (TON_{PS}) 和转化频率 (TOF_{PS}) 高达 39 h^{-1} (12 h) 和 3.8 h^{-1} 。此外， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 在 (400-800nm) 波段进行光解 12h，吸收光谱只有细微的变化，说明其拥有超长寿命。电化学和光化学研究揭示了 $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 和抗坏血酸阴离子对络合物内的还原猝灭形成了部分还原的 $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ (如 $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})](\text{Asc}^-)^{5+}$ ， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})](\text{Asc}^-)_2^{4+}$ ， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})](\text{Asc}^-)_3^{3+}$ ， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})](\text{Asc}^-)_4^{2+}$)，其在随后的水还原过程中充当还原当量。改变 Asc^- 的浓度导致表面催化位点发生变化，因为离子对络合物相对比例发生了变化。随后研究人员考察了 H_2 的起始生成速率与 Asc^- 浓度的函数关系。结果表明 Asc^- 浓度增加 (驱动力增加) 大大增加了 H_2 的起始生成速率。以上结果表明， $[\text{Ru}_3(\text{dmbpy})_6(\mu\text{-HAT})]^{6+}$ 三钌光敏剂促进了在 700-800nm 光照下的光解水制氢。采用新型三钌光敏剂，通过与抗坏血酸阴离子形成离子对，独特的氧化还原调控促进近红外光驱动的光解水制氢。捕光能力扩展到红外区域，从而可以更有效地利用太阳辐射。相关研究工作发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》上⁸。

(朱妤婷 郭楷模)

美科学家揭露富锂层状氧化物可逆氧变价机理

富锂层状氧化物 (LLO) 凭借其高的理论比容量 (>250mAh/g) 和低成本特性成为理想正极材料选择。然而，基于 LLO 材料电池的电极电压衰减速度很快，使电池达不到理论容量，这是当前该电池研究的热点方向之一。美国能源部国家实验室 David Prendergast 教授等研究人员发明了新方法能够从原子层面了解锂离子电池性能变化过程中发生的结构变化，从而为开发高性能电池提供重要的科学参考。研究人员将镍、钴掺杂的氢氧化锰 ($\text{Ni}_{0.21}\text{Co}_{0.08}\text{Mn}_{0.54}(\text{OH})_2$) 粉末和 碳酸锂 (Li_2CO_3) 混合置于 900℃ 中煅烧 10 小时制成镍、钴掺杂的锂锰氧正极 ($\text{Li}_{1.17}\text{Ni}_{0.21}\text{Co}_{0.08}\text{Mn}_{0.54}\text{O}_2$)，

8 Yutaro Tsuji, Keiya Yamamoto, Kosei Yamauchi, et al. Near-Infrared Light-Driven Hydrogen Evolution from Water Using a Polypyridyl Triruthenium Photosensitizer. *Angewandte Chemie International Edition*, 2017, DOI: 10.1002/anie.201708996

通过光谱测量得 Li/Ni/Co/Mn 的摩尔质量比为 1.434:0.251: 0.099: 0.650。将质量分数 80%的富锂和富锰 Ni/Mn/Co 分层氧化物 (LMR-NMC)、质量分数 10%的聚偏氟乙烯粘合剂和质量分数 10%的炭黑 (C65) 与 N-甲基-2-吡咯烷酮混合, 并使用厚度为 300 μm 的刮片将其浇铸到 Al 箔上, 然后将该膜在 60 $^{\circ}\text{C}$ 的空气中干燥 3 小时, 接着在 100 $^{\circ}\text{C}$ 的真空下干燥 12 小时。研究人员将直径约 9mm 的 NCM 电极、两个 25 μm 厚的隔膜、750 μm 厚 Li 箔阳极和含有六氟磷酸锂 LiPF_6 (1 摩尔) 的碳酸亚乙酯 (EC) /碳酸二乙酯 (DEC) 电解液 (1: 1 质量比) 组装成纽扣电池。研究人员结合了各种 X 射线光谱、显微镜和结构探针, 以确定正极的原子和化学结构如何随着电池的充放电而发生变化。发现部分可逆的过渡金属迁移使得氧化还原对的电位降低超过 1V, 导致循环过程中的阴离子和阳离子氧化还原电位的重新排序。通过第一性原理计算表明, 锂离子从正极移动到负极, 一些过渡金属原子便嵌入取代他们的空位。同时, 氧原子释放一部分电子 (即 O_2^-/O^- 变价), 形成充电的电流和电压。当锂离子和电子在放电期间返回到正极时, 大部分过渡金属掺杂剂返回到它们原来的位置, 但是并不是全部返回 (部分可逆), 并且不是立即返回。这是由于过渡金属原子迁移与局部的氧环境急剧变化有关。研究人员表示, 通过光谱观察持续 500 次的充电/放电循环, 这个机制与稳定氧化还原点电对有关。通过控制原子结构参与电池充放电的方式, 提供了一个可靠的途径来优化这些富锂正极的电压性能。该项工作系统研究了 LLO 材料在电池充放电循环过程中晶体结构变化对电化学性能的影响, 揭露了晶体结构与氧离子变价过程的关系, 为高性能电极材料的设计和合成提供重要的科学参考。相关研究工作发表在《*Nature Communications*》上⁹。

(罗卫 郭楷模)

⁹ William E. Gent, Kipil Lim, Yufeng Liang, et al. Coupling between oxygen redox and cation migration explains unusual electrochemistry in lithium-rich layered oxides. *Nature Communications*, 2017, DOI: 10.1038/s41467-017-02041-x

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：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

