

中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

2016 年第 2 期（总第 256 期）

# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- 首次在全球尺度研究气候变化、水资源和电力关联
- 丹麦和英国 2015 年风电发展创纪录
- 布鲁金斯学者分析气候政策对中国未来排放和经济影响
- DOE 资助 2.2 亿美元推进电网现代化研究
- DOE 资助 8000 万美元开发第四代核能反应堆技术
- 兰德学者评述美国取消石油出口禁令影响

## 目 录

### 决策参考

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 荷奥学者首次在全球尺度研究气候变化、水资源和电力关联····· | 2 |
| 丹麦和英国 2015 年风电发展创纪录·····        | 2 |
| 欧盟研究人员评估电动两轮车的环境与经济社会影响·····    | 3 |
| 美报告指出可再生能源配额制带来可观效益·····        | 3 |

### 中国研究

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 布鲁金斯学者建模分析气候政策对中国未来排放和经济影响····· | 4 |
|---------------------------------|---|

### 项目计划

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| DOE 资助 2.2 亿美元推进电网现代化研究·····         | 5 |
| DOE 资助 8000 万美元开发第四代核能反应堆技术·····     | 6 |
| DOE 资助 3500 万美元开展深钻孔试验探索核废料地质处置····· | 7 |

### 前沿与装备

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 美瑞科学家刷新双结太阳能电池效率记录·····                                             | 7  |
| 新型钼基催化剂实现碳氧化物到液体燃料转化·····                                           | 8  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 超晶格内建电场增强电子-空穴分离····· | 8  |
| 利用中子散射技术探寻无铅钙钛矿光伏材料·····                                            | 9  |
| 原位中子衍射指导固态锂离子电池电解质材料的合成·····                                        | 9  |
| 有序多孔反蛋白纳米结构 Ge 半导体材料·····                                           | 10 |
| 新型廉价有机液流电池·····                                                     | 10 |
| 川崎重工开发氢燃气轮机低 $\text{NO}_x$ 排放技术·····                                | 11 |

### 能源资源

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 兰德公司学者评述美国取消石油出口禁令影响····· | 11 |
|---------------------------|----|

专辑主编: 张 军

意见反馈: [jiance@mail.whlib.ac.cn](mailto:jiance@mail.whlib.ac.cn)

本期责编: 陈 伟

出版日期: 2016 年 1 月 15 日

## 本期概要

**荷兰和奥地利学者首次在全球尺度上探究气候变化、水资源和电力生产之间关联的研究，证实电厂不仅影响气候变化，并且还受气候变化影响：**通过模型预测显示，气候变化将影响世界许多地区的水资源可用性，并使水温升高。2040-2069 年间，气候变化对水资源的影响将使得全世界超过 61%-74%的水电厂和 81%-86%的热电厂电力产能降低。而关注于提高电厂效率和灵活性的适应性措施将能够消除大部分影响，包括技术进步提高电厂效率、从燃煤转向更高效的燃气发电、从淡水冷却转向空冷或海水冷却（针对海边电厂）等。此外，在干旱时期改进跨部门的水资源管理也非常重要。电力部门除了关注于消除气候变化影响的措施外，还需要增加对气候变化适应措施的关注，以保证未来数十年的水-能源安全。

**丹麦和英国 2015 年风电发展创纪录：**2015 年丹麦风电发展创造了新的世界纪录，其风电占比达到了 42.1%，超过了上一年的 39.1%。燃煤电厂和生物质发电厂仍发挥着重要作用，作为电力供应的“缓冲器”。2015 年对于英国风电来说同样是创纪录的一年，全年风电发电量占到发电总量的 11%，而上一年度为 9.5%，风电能够满足 825 万户家庭的需求。这一年英国还相继打破了周、月和季度纪录：12 月最后一周风电占比达到约 20%、12 月风电占比达到 17%、第四季度风电占比达到 13%。整体来看，2015 年英国可再生能源发电占比超过 18%，同比增长 31%；化石燃料发电占比从 58.7%下降到 52%。

**美国布鲁金斯学会学者发布《中国未来碳排放：基于模型的分析》报告，建模分析了中国可能采取的气候政策对中国和全球碳排放以及经济的影响：**分析结果显示，在模型中 2020 年中国碳排放比基准情景低 6%，2040 年低 26%，2050 年低 33%。而碳排放降低的代价是，政策模型显示中国的实际 GDP 比基准情景低 1.5%，实际收入增长要更慢。同时研究指出，对 2030 年排放达到峰值目标引起的经济变化是可控的，并不会产生经济崩溃而导致放弃国家自主贡献任务的情况。研究还发现，中国控制排放的政策对世界其它地区的排放几乎没有影响，同时也几乎没有从中国到其贸易伙伴的排放转移。但由于中国经济增长会更加缓慢，其它国家的实际 GDP 可能有少许下降。这些变化对东欧国家、前苏联地区和石油输出国组织有重要影响，而对欧洲和美国影响很小。

**美国能源部（DOE）资助 2.2 亿美元推进电网现代化研究：**DOE 发布电网现代化多年期计划报告，阐明了 DOE 未来五年将优先支持的研究、开发与示范工作重点，主要包括六大核心技术领域：设备与集成系统测试，传感与量测，系统运行、电力流动和控制，设计与规划工具，安全性和灵活性，技术支持。作为计划的具体落实，DOE 宣布将资助 2.2 亿美元用于国家实验室与工业界、高校以及地方政府等合作伙伴组成研发联盟，开展 88 个项目，包括 14 个国家实验室参与其中。

**DOE 资助 8000 万美元开发先进核能反应堆技术：**X-energy 公司牵头的项目团队将设计开发 Xe-100 小型模块化球床高温氦冷反应堆，热功率 100 MWt，电功率 30-38 MWe，具有本征安全性，使用 UCO 型核燃料，乏燃料中次锕系元素含量低于 1%。南方公司牵头的项目团队将合作开发氯化物熔盐快堆（MCFR），开展综合效应测试和材料适用性研究。

### 荷奥学者首次在全球尺度研究气候变化、水资源和电力关联

1月4日，荷兰瓦赫宁根大学和奥地利国际应用系统分析研究所学者联名在《*Nature Climate Change*》在线版发表文章<sup>1</sup>指出，气候变化对水资源的影响可能会导致电力产能的显著降低，研究人员呼吁采取适应行动以保证未来能源安全。这是首个在全球尺度上探究气候变化、水资源和电力生产之间关联的研究，证实电厂不仅影响气候变化，并且还受气候变化影响。

水电和热电占到全球发电总量的98%，这些技术严重依赖水资源可用性，并且冷却用水温对于热力发电起到关键作用。研究人员利用来自24515个水电厂和1427个热电厂的数据，通过模型预测显示，气候变化将影响世界许多地区的水资源可用性，并使水温升高。2040-2069年间，气候变化对水资源的影响将使得全世界超过61%-74%的水电厂和81%-86%的热电厂电力产能降低，而关注于提高电厂效率和灵活性的适应性措施将能够消除大部分影响。

研究显示，特别是在美国、南美洲南部、非洲南部、欧洲中南部、东南亚和澳大利亚南部等地区均易受到影响，由于气候变化使得年均径流量降低和水温显著升高，将可能使得这些地区水电和热电发电量降低。

该项研究还提出了部分有助于减轻影响的适应性措施，包括技术进步提高电厂效率、从燃煤转向更高效的燃气发电、从淡水冷却转向空冷或海水冷却（针对海边电厂）等。此外，在干旱时期改进跨部门的水资源管理也非常重要。电力部门除了关注于消除气候变化影响的措施外，还需要增加对气候变化适应措施的关注，以保证未来数十年的水-能源安全。

（陈伟）

### 丹麦和英国 2015 年风电发展创纪录

根据欧盟媒体 EurActiv 报道<sup>2</sup>，丹麦电网公司(Energinet)15日发布的数据显示，2015年丹麦风电发展创造了新的世界纪录，其风电占比达到了42.1%，超过了上一年的39.1%。Energinet同时指出，燃煤电厂和生物质发电厂仍发挥着重要作用，作为电力供应的“缓冲器”。丹麦政府期望到2020年风电占比达到50%，到2030年

<sup>1</sup> Michelle T. H. van Vliet, David Wiberg, Sylvain Leduc, et al. Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, Published online 04 January 2016, DOI: 10.1038/nclimate2903.

<sup>2</sup> Denmark breaks its own world record in wind energy.

<http://www.euractiv.com/sections/climate-environment/denmark-breaks-its-own-world-record-wind-energy-321002>  
Record-breaking year for UK wind energy.

<http://www.euractiv.com/sections/energy/record-breaking-year-uk-wind-energy-320734>

90%的电力和热力由可再生能源提供。

英国国家电网数据显示，2015 年对于英国风电来说同样是创纪录的一年，全年风电发电量占到发电总量的 11%，而上一年度为 9.5%，风电能够满足 825 万户家庭的需求。这一年还相继打破了周、月和季度纪录：12 月最后一周风电占比达到约 20%、12 月风电占比达到 17%、第四季度风电占比达到 13%。整体来看，2015 年英国可再生能源发电占比超过 18%，同比增长 31%；化石燃料发电占比从 58.7% 下降到 52%。

（陈伟）

## 欧盟研究人员评估电动两轮车的环境与经济社会影响

欧盟联合研究中心、荷兰乌德勒支大学和瑞士日内瓦大学的研究人员日前发表文章<sup>3</sup>指出，如果大规模部署，电动两轮车（自行车和摩托车）有潜力为道路交通过电气化做出贡献。

研究人员指出，道路交通过电气化能够减少对石油的依赖、削减 CO<sub>2</sub> 排放和城市空气污染，但目前大部分注意力都集中在电动汽车上，电动自行车和摩托车尚有很大潜力有待挖掘。欧盟电动自行车市场近年来增长强劲，但较高的价格和有限的车型选择使得中大型摩托车主很难选择电动版本。2013 年欧盟电动自行车销量为 90.4 万辆，占到自行车市场份额的 5%；但电动摩托车市场份额仅有 1%。研究人员建议欧盟引入鼓励使用电动自行车和摩托车的政策，以帮助解决交通领域的 CO<sub>2</sub> 排放、交通噪音、道路拥堵和空气污染等问题。这些政策应该包括税收优惠、城市区域严格的噪音管控、划定专属车道、建设停车和充电基础设施以及采取有效的防盗保护手段等。考虑到电力结构、地理和气候条件、基础设施和用户趋势的地区差异性，电动自行车和电动摩托车的可持续性表现有所不同，其评估应作为城市整体交通规划的一部分。

（陈伟）

## 美报告指出可再生能源配额制带来可观效益

1 月 6 日，美国能源部劳伦斯伯克利国家实验室和国家可再生能源实验室联合发布《美国可再生能源配额制效益与影响回顾性分析》<sup>4</sup>报告，对美国实施的可再生能源配额制（RPS）政策带来的环境、经济和社会效益影响进行了评价。报告估算，仅 2013 年各州推行 RPS 政策使得削减温室气体排放带来了 7-63 亿美元的经济效益，降低其他空气污染物排放带来了 26-99 亿美元经济效益；此外，全美取水量和耗水

<sup>3</sup> Martin Weiss, Peter Dekker, Alberto Moro, et al. On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015, 41: 348–366.

<sup>4</sup> A Retrospective Analysis of the Benefits and Impacts of U.S. Renewable Portfolio Standards. <https://emp.lbl.gov/publications/retrospective-analysis-benefits-and>

量也分别减少了 8300 亿加仑和 270 亿加仑。考虑到对气候变化或空气污染造成影响估算的不同，经济效益是一个数值范围。

RPS 政策要求公用电力单位或其他电力供应商满足一定比例的可再生能源上网电量。美国已有 29 个州和华盛顿特区实施了这一政策，在过去十年有效推动了可再生能源发电的发展。现有多个州正在考虑是延长、废止还是修订现行 RPS 政策，此份报告将帮助决策者更好地评估该政策。

除了评价环境效益外，该项研究还评估了 RPS 政策带来的其他影响，如：2013 年这一政策支撑了 20 万个可再生能源相关就业岗位；由于可再生能源发电替代了其具有更高运行成本的发电技术（大部分是燃气发电），通过降低批发电价为消费者节省 12 亿美元支出，降低天然气价格还另外节省了 13-37 亿美元支出。削减温室气体排放效益相当于减少 0.7-6.4 美分/kWh 可再生能源发电成本，降低空气污染排放相当于减少 2.6-10.1 美分/kWh 成本，而消费者受益于批发电价和天然气价格降低节省的开支分别相当于减少 0-1.2 美分/kWh 和 1.3-3.7 美分/kWh 的成本。

需要注意的是，尽管报告是从全国性视角将所有州的 RPS 政策作为一个整体来评估，但许多相关效益和影响呈现高度地域聚集性。如降低空气污染排放主要与燃煤电厂削减 SO<sub>2</sub> 排放有关，带来的经济效益主要集中在东海岸中大西洋地区、五大湖地区、东北地区 and 德克萨斯州；取水量和耗水量减少带来的经济效益大部分集中在加利福尼亚州和德克萨斯州。

（陈伟）

## 中国研究

### 布鲁金斯学者建模分析气候政策对中国未来排放和经济影响

12 月 31 日，美国布鲁金斯学会研究人员发布《中国未来碳排放：基于模型的分析》<sup>5</sup>报告，采用最新的 G-Cubed 模型模拟了中国可能采取的完成国家自主贡献任务的气候政策，关注这些政策对中国和全球碳排放以及经济的影响。G-Cubed 模型是一个全球跨时段可计算的一般均衡（CGE）模型，被用于探索碳排放控制政策对中国宏观经济，包括各个工业部门和其它如贸易流动、币值、排放水平和经济活动的可能影响。

分析结果显示，在模型中 2020 年中国碳排放比基准情景低 6%，2040 年低 26%，2050 年低 33%。而碳排放降低的代价是，政策模型显示中国的实际 GDP 比基准情

---

<sup>5</sup> China's carbon future: A model-based analysis.

<http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Papers/2015/12/31-china-carbon-future/ChinasCarbonFuture.pdf?la=en>

景低 1.5%，实际收入增长要更慢。同时研究指出，对 2030 年排放达到峰值目标引起的经济变化是可控的，并不会产生经济崩溃而导致放弃国家自主贡献任务的情况。

研究还发现，中国控制排放的政策对世界其它地区的排放几乎没有影响，同时也几乎没有从中国到其贸易伙伴的排放转移。但由于中国经济增长会更加缓慢，其它国家的实际 GDP 可能有少许下降。这些变化对东欧国家、前苏联地区和石油输出国组织有重要影响，而对欧洲和美国影响很小。因此报告指出，从中国进口能源密集型产品的国家受中国碳排放控制政策的影响很小。

（张凡）

## 项目计划

### DOE 资助 2.2 亿美元推进电网现代化研究

1 月 14 日，美国能源部（DOE）发布电网现代化多年期计划报告<sup>6</sup>，阐明了 DOE 未来五年将优先支持的研究、开发与示范工作重点，以建设更加经济高效、灵活可靠、安全可持续的电网基础设施，推动电力系统变革。作为计划的具体落实，DOE 宣布将资助 2.2 亿美元用于国家实验室与工业界、高校以及地方政府等合作伙伴组成研发联盟，开展 88 个先进储能系统与电网设备、多尺度清洁能源系统集成、标准与测试流程等电网现代化关键领域的研发项目，包括 14 个国家实验室参与其中。电网现代化计划主要包括六大核心技术领域，参见表 1。

表 1 DOE 电网现代化计划提出六大核心技术领域

| 技术领域         | 研究内容                                                                                                 |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 设备与集成系统测试    | 开发先进电力电子器件、储能系统、可控负载和其他电网设备；<br>发展技术标准和测试流程；<br>开展设备测试与验证；<br>开展多尺度系统集成和测试                           |
| 传感与量测        | 改善对建筑物和终端用户的传感能力；<br>加强对配电系统的传感能力；<br>加强对输电系统的传感能力；<br>开发数据分析和可视化工具；<br>示范统一的电网通信网络；<br>实施地区性和交叉领域计划 |
| 系统运行、电力流动和控制 | 开发新架构和控制理论；<br>开发协调系统控制方法；<br>改进电网运行与控制的分析和计算；                                                       |

<sup>6</sup> Grid Modernization Multi-Year Program Plan.  
<http://energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/Grid%20Modernization%20Multi-Year%20Program%20Plan.pdf>

|         |                                                                                     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|         | 开发增强型电力流动控制设备硬件                                                                     |
| 设计与规划工具 | 开发综合性经济评估的多尺度工具；<br>开发和改造提高可靠性和灵活性的工具；<br>开发计算技术，增强高性能计算能力加快电网设计与规划分析               |
| 安全性和灵活性 | 提高识别威胁和危害事件的能力；<br>提高防御威胁和危害事件的能力；<br>提高探测潜在威胁和危害事件的能力；<br>提高事件响应的能力；<br>缩短性能恢复时间   |
| 技术支持    | 为各州和地方政府提供技术援助；<br>支持地区性规划和可靠性组织；<br>开发方法和动用资源评估电网现代化新兴技术价值和市场；<br>开展未来电力公用事业单位监管研究 |

（陈伟）

## DOE 资助 8000 万美元开发第四代核能反应堆技术

1 月 15 日，美国能源部（DOE）宣布遴选 X-energy 公司和南方公司分别牵头的两个研发团队开发先进核能反应堆技术，解决第四代反应堆设计、建造和运行等方面的技术挑战，有潜力在 2035 年前进行示范<sup>7</sup>。2015 财年对每个项目的投资力度为 600 万美元，项目承担方需要投资 150 万美元作为匹配。取决于国会对联邦政府未来财政预算的拨款额度，DOE 对每个项目的五年期（2015-2019 财年）资助力度将高达 4000 万美元，项目承担方匹配投入将达到 1000 万美元。项目概况如下：

（1）X-energy 公司牵头，将与 BWX 技术公司、俄勒冈州立大学、特利丹-布朗（Teledyne-Brown）工程公司、SGL 集团、爱达荷国家实验室和橡树岭国家实验室合作设计开发 Xe-100 小型模块化球床高温氦冷反应堆，热功率 100 MWt，电功率 30-38 MWe，具有本征安全性，使用 UCO 型核燃料，乏燃料中次锕系元素含量低于 1%。

（2）南方公司牵头，将与泰拉能源公司（TerraPower）、电力研究院、范德堡大学和橡树岭国家实验室合作开发氯化物熔盐快堆（MCFR），开展综合效应测试和材料适用性研究。MCFR 具有以下特征：冷却剂具有化学稳定性，强烈的负温度系数效应和空泡效应，近零过剩反应性，无需常规燃料组装，可在线加料，可实现堆芯高功率密度和高热电转化效率，锕系元素无需载出堆芯可在裂变反应完全消耗。

（陈伟）

<sup>7</sup> Energy Department Announces New Investments in Advanced Nuclear Power Reactors to Help Meet America's Carbon Emission Reduction Goal.  
<http://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-new-investments-advanced-nuclear-power-reactors-help-meet>



## DOE 资助 3500 万美元开展深钻孔试验探索核废料地质处置

1 月 5 日，美国能源部（DOE）选中一支由巴特尔研究所牵头的团队在北达科他州 Rugby 地区开展结晶基底岩层深钻孔现场试验<sup>8</sup>，钻孔深度超过 1.6 万英尺。潜在的用途包括高放射性核废料的地质长期处置和地热能源开发。现场试验将为跨学科的地下科学与工程挑战提供新的认知，如钻孔技术、井眼的稳定性和密封性以及地下表征等。项目参与机构还包括北达科他大学、斯伦贝谢公司、瑞士 Solexperts 公司。

DOE 这一为期五年、耗资达 3500 万美元的项目目标是确定深钻孔地质处置的可行性，研究包括检验在可观深度下围岩的水文地质、地球化学和地质力学特征。研究人员将在钻井过程中收集大量数据，并在钻井完成后开展专业科学实验，项目运行过程中将不使用放射性材料。科学家还确认了美国其他地区也有类似于 Rugby 地区的大面积、地质稳定的岩层，该项工作也将有助于加深对类似地区的理解。

（陈伟）

## 前沿与装备

### 美瑞科学家刷新双结太阳能电池效率记录

由于传统单结太阳能电池受到肖克利·奎伊瑟效率极限制约，能量转换效率提高存在瓶颈。而串联结构太阳能电池（双结或者多结）为科学家提供了突破极限效率的可能。美国能源部国家可再生能源实验室（NREL）与瑞士电子学与微电子技术中心（CSEM）科学家合作研发出了 GaInP/Si 双结太阳能电池，非聚光条件下光电转换效率达到了 29.8%，刷新了该类型太阳能电池的世界纪录<sup>9</sup>，超过了晶体硅的极限效率 29.3%，实验结果得到权威机构的认证。该双结串联电池由 GaInP 薄膜电池充当顶电池，晶体 Si 电池作为底电池，两者分别由 NREL 和 CSEM 科学家单独研发，最后由 NREL 研究人员利用环氧树脂将两个子电池堆叠串联在一起形成 GaInP/Si 双结太阳能电池。认证器件面积为 1.006 cm<sup>2</sup>，开路电压 1.46 V，短路电流 14.1 mA·cm<sup>-2</sup>，填充因子高达 87.9%。双方合作表明了通过构造新型双结太阳能电池，能够获得高效率器件；并且通过后续的优化工作，电池效率有望提高到 30% 以上。

（郭楷模）

<sup>8</sup> Energy Department selects Battelle team for a deep borehole field test in North Dakota.  
<http://www.energy.gov/articles/energy-department-selects-battelle-team-deep-borehole-field-test-north-dakota>

<sup>9</sup> NREL and CSEM Jointly Set New Efficiency Record with Dual-Junction Solar Cell.  
<http://www.nrel.gov/news/press/2016/21613>

## 新型钼基催化剂实现碳氧化物到液体燃料转化

费托合成技术自诞生以来已近一个世纪，它是合成气（CO 和 H<sub>2</sub>）经过催化反应转化为碳氢化合物液体燃料的过程。其反应条件苛刻，通常需要在高温（100-300℃）、高压（1-100 个大气压）下进行，并且其反应的机理至今不甚明确。而近来，尽管出现采用其他化学方法能够在温和条件下实现碳氧化物到液体燃料的转变相关报道，如采用铜基电催化将 CO 或者 CO<sub>2</sub> 转变为碳氧化物，但是整个反应过程机理则完全不明。美国加州理工学院 Theodor Agapie 教授研究团队合成了一种全新的过渡金属钼（Mo）复合物，该复合物是由 Mo 金属原子与单个或者多个有机分子配体键合形成。研究发现，此处给电子能力很强的有机配体增加了还原性，有助于吸附在 Mo 金属基底的 CO 分子的活化，使得 C-O 键弱化更易断开。C-O 键断开则形成了以碳为终端与 Mo 金属键合的碳化物的中间产物；接着，重复上述过程，再催化一个 CO 分子形成碳化物。上述形成的碳化物则通过 C-C 键聚合形成 C<sub>2</sub> 产物，被 Mo 金属原子释放，实现了将 2 个 CO 转变为烯醇衍生物，整个反应在室温下甚至低于室温便可进行。尽管先前有提出关于碳化物为中间产物的说法，但直到该实验才真正证实了该中间产物的存在。该项研究通过合成新的催化材料，首次通过实验实现将 2 个 CO 分子转变为被金属原子释放的烯醇衍生物，清晰地揭露了整个反应的机理过程，为实现碳氧化物到液体燃料转化指明了方向。基于以上研究结果，研究人员正致力于开发可实际商用催化系统，以其能够实现碳氧化物到液体燃料转化大规模应用。相关研究结果发表在《Nature》<sup>10</sup>。（郭楷模）

## Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 超晶格内建电场增强电子-空穴分离

赤铁矿（ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）因其具有合适带隙（约 2.1eV，可吸收利用可见光）、储量丰富、结构稳定和无毒等优异特性，成为光解水制氢应用的潜在优选催化剂。但受限于其较慢的载流子输运特性，导致其在光激发下产生的电子很大一部分还没来得及传输到材料表面进行催化制氢就已经在内部复合损失掉，这成为了赤铁矿光催化剂应用的一大限制因素。因此，如何增强赤铁矿材料内的电子-空穴的快速分离成为解决上述问题的关键。针对上述问题，美国西北太平洋国家实验室 Scott A. Chambers 教授领导的研究团队利用分子束外延技术将晶格匹配良好的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜交替生长，形成了 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 周期性结构，也即 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 超晶格结构。当光照射到该材料产生了光生电子-空穴对，同时由于 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在接触界面处形成了异质结结构，产生了内建电场，驱动了电子和空穴分别往 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜输运，从而实现了电子-空穴的高效分离，减少了复合损失，进而增强了 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的光催化性能。

<sup>10</sup> Joshua A Bussell, Theodor Agapie. Four-electron deoxygenative reductive coupling of carbon monoxide at a single metal site. *Nature*, 2015, 529 (7584): 72–75.

该项研究使得人们对  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  超晶格结构的界面有了更深刻的认识, 同时为更好利用赤铁矿作为光催化剂进行光解水制氢指明了方向。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》<sup>11</sup>。

(郭楷模)

## 利用中子散射技术探寻无铅钙钛矿光伏材料

美国杜邦 (DuPont) 公司研究人员 Michael Crawford 和美国能源部橡树岭国家实验室合作, 利用脉冲中子散射测试手段来研究钙钛矿太阳电池优异性能背后的微观驱动因素, 以期增进对钙钛矿材料基本性质如何影响电池器件性能的认知<sup>12</sup>。整个脉冲中子散射源包括单晶衍射仪 TOPAZ 中子束, 粉末衍射仪 POWGEN 中子束和纳米级的有序材料衍射仪 NOMAD 中子束。研究人员一方面利用非弹性中子散射来测试钙钛矿材料中的甲基胺阳离子, 同时利用弹性中子散射来测试阳离子的振动谱, 由此可分析阳离子运动随温度的变化如何做出响应。上述研究能够对钙钛矿材料进一步深入了解, 从而有利于改善该类电池的性能, 还能够指导研究人员如何在保证光伏器件高性能的前提下, 探寻新型无铅钙钛矿材料。

(郭楷模)

## 原位中子衍射指导固态锂离子电池电解质材料的合成

通过掺杂  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  石榴石结构材料, 具有良好  $\text{Li}^+$  传导性和兼容性的氧化态固体表现出作为全固态锂离子电池电解质材料的潜能。然而在合成中氧化态结构经常受到二次相和低电导率的正方晶相形成的困扰。掺杂微量有高水平空位或易于产生化学键的元素能减少这些影响, 然而选择拥有合适空位的元素需要大量重复性试验。美国橡树岭国家实验室研究人员采用原位中子衍射监测石榴石结构材料合成过程中相的演变, 直接观察掺杂物的效果, 揭示了合成过程中涉及到中间相暂时存在的反应机理。通过跟踪锂空位随温度和掺杂剂的变化, 他们发现了不同掺杂剂普遍遵循的规律以及它们如何使空位在石榴石结构中再分散。中子衍射的综合分析结果展示了掺杂元素如何调整空位数量, 控制空位分布, 改变电荷携带者在固态电解质中的路径。原位中子衍射观测为固态电解质材料合成过程提供了过程优化抑制低电导率相形成的指导方向。相关研究成果发表在《*Chemistry of Materials*》<sup>13</sup>和《*Journal of Materials Chemistry A*》<sup>14</sup>。

(张凡)

<sup>11</sup> Tiffany C. Kaspar, Daniel K. Schreiber, Steven R. Spurgeon, et al. Built-In Potential in  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  Superlattices for Improved Photoexcited Carrier Separation. *Advanced Materials*, Published Online 17 December 2015, DOI: 10.1002/adma.201504545.

<sup>12</sup> Getting the Lead Out of Photovoltaics with Neutrons. <http://neutrons.ornl.gov/news/topaz-user-dupont>

<sup>13</sup> Yan Chen, Ezhiylmurugan Rangasamy, Chengdu Liang, et al. Origin of High  $\text{Li}^+$  Conduction in Doped  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  Garnets. *Chemistry of Materials*, 2015, 27 (16): 5491–5494.

<sup>14</sup> Yan Chen, Ezhiylmurugan Rangasamy, Clarina R. dela Cruz, et al. A study of suppressed formation of low-conductivity phases in doped  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  garnets by in situ neutron diffraction. *Journal of Materials Chemistry A*, 2015, 3: 22868–22876.

## 有序多孔反蛋白纳米结构 Ge 半导体材料

德国路德维希-马克西米利安-慕尼黑大学的 Thomas F. Fassler 教授带领的联合研究团队以 $[\text{Ge}_9]^{4+}$ Zintl 离子团簇为 Ge 源, 采用 bottom-up (自下而上) 的方法制备出了高度有序多孔的反蛋白纳米结构的 Ge 半导体材料。首先, 研究人员将 $[\text{Ge}_9]^{4+}$ Zintl 离子团簇以溶液前躯体的形式注入到预先布置好的规则有序排列的聚合物塑料纳米球阵列中, 将所有的球与球之间的缝隙填充。接着, 通过高温化学反应, 将 $[\text{Ge}_9]^{4+}$ 氧化成 Ge, 同时去除聚合物塑料球, 从而形成了三维的网状结构, 也即有序多孔的反蛋白结构。通过在前躯体里添加特定的元素化合物, 如 GeCl<sub>4</sub>、PCl<sub>5</sub> 等, 就可以获得具有特定性能的靶向目标材料。该有序多孔的反蛋白结构 Ge 半导体薄膜, 尺寸迷你、轻盈便携、坚固耐用且柔韧性好, 因此其在太阳能电池电极和充电电池领域将有巨大的潜在应用价值。此外, 该制备方法也可以延用到 Si 半导体材料, 以制备出类似的有序多孔 Si 纳米结构, 作为潜在的锂电池的阳极材料, 用以改善锂电池性能。相关研究成果发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》<sup>15</sup>。(郭楷模)

## 新型廉价有机液流电池

目前 79% 的商用液流电池是基于钒电解液活性物质的全钒液流电池, 但高浓度钒电解液复杂的制备工艺、高昂的价格、五价钒电解液的高温稳定性等问题都不利于其大规模推广应用。针对上述问题, 美国西北太平洋国家实验室 Wei Wang 教授课题组研发出一种基于有机电解液的新型液流电池, 分别采用廉价可持续利用的甲基紫精 (methyl viologen) 作为阳极电解液和四臂-聚乙二醇-马来酰亚胺 (4-HO-TEMPO) 阴极电解液替换全钒电解液, 并且以氯化钠 (NaCl) 为支撑电解液来输运电子到中心电堆确保电池放电过程顺利进行。这一小面积有机液流电池原型功率为 600 mW, 通过循环伏安法在不同的电流密度下 (20-100 mA·cm<sup>-2</sup>) 对电池进行反复充放电测试, 发现该新型液流电池在电流密度 40-50 mA·cm<sup>-2</sup> 之间性能达到最优, 电压效率可以达到 70%, 放电电压为 1.25V, 循环次数可达 100 次。该项研究由于应用廉价有机电解液更具有成本效益, 并且为开发更多性能更优异的有机活性材料指明了方向。研究人员正致力于寻找更高效的有机活性材料、提高有机电解液的流动性、增大电解液的容积以及选择离子传导性更好的离子交换膜, 以进一步改进器件性能。预计采用有机液流电池会比当前商用液流电池成本下降 60%, 从 450 美元/kWh 降到 150 美元/kWh, 达到美国能源部的目标数值, 实现大规模商业化应用。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》<sup>16</sup>。(郭楷模)

<sup>15</sup> Manuel M. Bentlöhner, Markus Waibel, Patrick Zeller, et al. Zintl Clusters as Wet-Chemical Precursors for Germanium Nanomorphologies with Tunable Composition. *Angewandte Chemie International Edition*, Published online 3 December 2015, DOI: 10.1002/anie.201508246.

<sup>16</sup> Tianbiao Liu, Xiaoliang Wei, Zimin Nie, et al. A Total Organic Aqueous Redox Flow Battery Employing a Low Cost and Sustainable Methyl Viologen Anolyte and 4-HO-TEMPO Catholyte. *Advanced Energy Materials*, Published Online

## 川崎重工开发氢燃气轮机低 NO<sub>x</sub> 排放技术

由于氢气燃烧速度快，氢燃气轮机中燃烧容易变得不稳定。再加上氢气燃烧时的火焰温度很高，因此，NO<sub>x</sub> 的产生量多达天然气燃烧的近两倍。为此，川崎重工业开发了利用微小氢火焰来防止回火等不稳定燃烧，同时减少 NO<sub>x</sub> 产生量的干式低排放（DLE）燃烧技术，并利用德国亚琛工业大学的高温高压燃烧试验设备实施了 100% 氢气的燃烧试验<sup>17</sup>。试验证实，NO<sub>x</sub> 排放量在 40ppm 以下，低于日本大气污染防治法规定的 84ppm（按氧气浓度 15% 换算）。该公司计划在 2017 年度完成燃烧器的开发，并配备在氢燃气轮机上。（陈伟）

## 能源资源

### 兰德公司学者评述美国取消石油出口禁令影响

12 月 22 日，美国兰德公司高级经济学家 Keith Crane 和 Nathaniel Lutovsky 发表评论文章<sup>18</sup>，对国会正式批准取消有 40 年之久的石油出口禁令可能造成的影响进行了展望。在 1975 年阿拉伯石油禁运之后美国开始执行石油出口禁令，旨在保证国内原油供应充足，但炼制的石油产品允许向国外出口。

文章指出，美国大部分增加的石油产量来自德克萨斯州和北达科他州。北达科他州的一部分石油在中西部炼制，但是当地的炼油厂已经满负荷运行。剩下的大部分被铁路运输到东海岸或西海岸。相比管道运输，采用铁路运输时生产商需要每桶多支付 5 到 10 美元。为使他们的产品可与进口石油竞争，国内生产商不得不贴现支付运输的费用。随着出口禁令的取消，许多原本需要运往东海岸和西海岸的石油可通过船运、管道运输或短途铁路等更廉价的方式运到墨西哥湾出口到国外市场。生产商只需要更少的贴现将他们的石油运输到市场，提高了北达科他州石油生产的利润率。这可能会导致更高的石油产量，从而可能带来全球油价下行的压力。

取消出口禁令同样可能提高炼油效率。目前，生产商将德克萨斯州的轻质原油打折出售到墨西哥湾用于处理重质油的炼油厂。在取消出口禁令后，生产商无需打折可将轻质原油卖到国外，墨西哥湾的炼油厂也能够展现其处理重质油的优势。整体来看，全球炼油行业可以获得炼油效率提高带来的益处。

取消出口禁令对石油生产商来说是有利的，他们有了额外的动机生产更多石油，因为其支付的交通贴现成本下降了。尽管尚不清楚会增加多少石油产量，但可以确定的是全球石油市场的效率将有所提高。

（张凡）

---

November 30 2015, DOI: 10.1002/aenm.201501449.

<sup>17</sup>低 NO<sub>x</sub> 水素専焼ガスタービンの燃焼技術を開発. [http://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20151221\\_1.html](http://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20151221_1.html)

<sup>18</sup> What Will Happen After the Oil Export Ban Is Repealed?  
<http://www.rand.org/blog/2015/12/what-will-happen-after-the-oil-export-ban-is-repealed.html>

## 中国科学院武汉先进能源战略情报中心简介

中国科学院武汉先进能源战略情报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分析机构，历年来参与了多项国家级、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<br>国际能源战略与新能源技术进展<br>金融危机背景下的能源战略<br>世界能源强国能源科技创新体系分析报告<br>美国能源科技计划管理机制及启示<br>.....           |
| 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<br>太阳能热发电技术国际发展态势分析报告<br>智能电网国际发展态势分析报告<br>规模化电力储能技术国际发展态势分析报告<br>高端洁净煤发电技术国际发展态势分析报告<br>..... |
| 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<br>低阶煤热解/气化/循环流化床专利态势分析<br>新型煤气化技术发展报告<br>太阳能技术新突破：钙钛矿太阳能电池<br>我国能源互联网发展重要战略问题研究<br>.....       |

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心    中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号（430071）

联系人：陈伟    张军

电    话：（027）87199180

电子邮件：jiance@mail.whlib.ac.cn