

中国科学院A类战略性先导科技专项

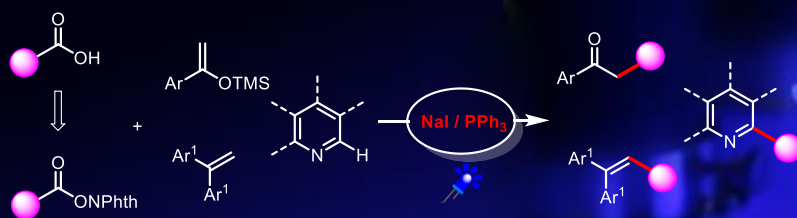
变革性洁净能源关键技术与示范

Transformational Technologies
for Clean Energy and Demonstration

研究发展动态

2019年第1期 (总第3期)

生物质温和条件脱羧偶联反应取得突破



Science 29 Mar 2019:
Vol. 363, Issue 6434, pp. 1429-1434

中国科学院大连化学物理研究所
中国科学院武汉文献情报中心

专项过程管理

- 中科院能源领域规划及洁净能源专刊讨论会在京举行.....1
洁净能源先导专项2018年度总结交流会召开.....1
洁净能源先导专项参加院专项2019年度工作会.....3

专项研发进展

- 合成气制混合醇联产柴油万吨/年级工业示范催化剂.....4
燃煤工业锅炉高效低氮燃烧技术示范工程进入主体建设阶段.....5
全国人大常委李静海到兖矿集团公司调研解耦炉具推广示范工作.....6
“民用燃煤清洁取暖关键技术”通过专家评估.....7
无焰燃气热水器实现双超低排放并获爱普兰产品奖.....8
中国科大在可见光催化脱羧偶联反应领域取得重要突破.....9
国际首台大规模压缩空气储能中高温蓄热实验平台调试完成.....11
百千瓦时级钠离子电池储能电站示范运行.....12

国内视点

- 风光发电平价上网新政出台 普惠制补贴成历史.....13
新型金属催化剂在超宽温度区间内高效去除H₂中微量CO.....14

国际瞭望

- 国际能源大宗商品市场形势分析及预测.....16
欧盟发布面向2050氢能发展路线图.....20

专项过程管理

中科院能源领域规划及洁净能源专刊讨论会在京举行

为推进洁净能源先导专项战略研究及规划工作、支撑中科院洁净能源领域十四五规划编制、宣传洁净能源先导专项理念及工作进展，洁净能源先导专项于 2 月 26 日，在京组织召开中科院能源领域规划及《中国科学院院刊》洁净能源专刊讨论会，专项负责人刘中民院士、院重任局彭子龙处长、院规划局陶诚处长、《院刊》编辑部杨柳春主任、洁净能源先导各项目负责人或其代表、院科技战略咨询院及武汉文献情报中心相关专家 30 余人参会。



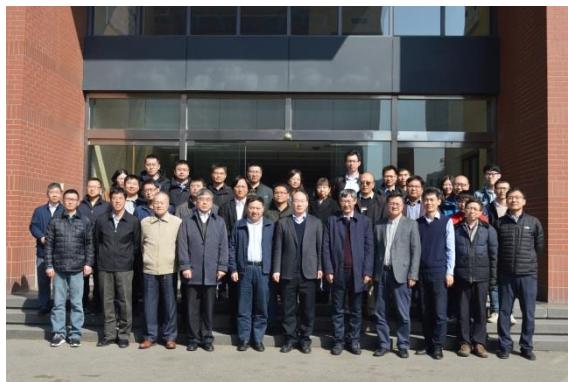
彭子龙首先介绍了先导专项及能源领域研究的有关情况，陶诚传达了院中长期（2021-2035）发展规划和“十四五”发展规划的最新精神和工作进展，杨柳春介绍了院刊作为科技智库载体的作用及投稿要求。之后与会专家进行了充分的交流讨论，提出了能源领域战略研究的意见及建议，形成了院刊洁净能源专刊的框架，并明确了洁净能源专刊于 4 月份出版发行。会议的召开对推动能源领域战略规划工作的顺利开展起到积极作用。

[中科院大连化学物理研究所 耿笑颖]

洁净能源先导专项 2018 年度总结交流会召开

自 3 月 16 日起，洁净能源先导专项各项目 2018 年度总结交流会先后召开，本次交流会各项目对各课题考核施行总体组责任专家制：每个项目安排 3 位总体组专家，与监理专家共同对项目责任督导；责任专家深入项目内各课题考核排序，报总体组讨论。课题负责人向项

目负责人、总体组责任专家及监理专家汇报课题 2018 年执行情况,评审专家针对执行情况对各课题打分。



3 月 20 日,中国科学院 A 类战略性先导科技专项“变革性洁净能源关键技术与示范”2018 年度总结交流会在北京召开。会议由专项首席科学家、工程院院士刘中民主持。中科院重大科技任务局副局长齐涛参加会议。



会议听取了 9 个项目 2018 年主要工作进展、存在问题与改进措施及 2019 年工作计划报告,并就项目推进过程中遇到的问题展开交流。监理专家认为,专项 2018 年工作推进顺利,2019 年专项示范工程建设将全面铺开,希望专项做好风险防控,确保示范工程顺利建设。

刘中民指出,2019 年是专项执行的关键之年,各项目负责人要切实担负起责任,在做好科技任务组织实施的同时,还要严格按照先导专项管理要求做好经费预算执行、宣传报道、科研档案等管理工作。

齐涛指出,专项要以重大产出为目标,出技术,出思想,提前谋划布局,重点建设几个典型的大型集成示范基地,把专项打造为中科院 A 类先导专项的标杆。同时要加强宣传和战略研究工作,以技术为核心,提出面向 2030 和 2050 年的能源领域技术路线。

中科院重大科技任务局、项目监理部,专项任务承担单位负责人和专项团队的 40 余名管理及科技骨干参加会议。

[中科院大连化学物理研究所 张哲]

洁净能源先导专项参加院专项 2019 年度工作会

3月21日，中国科学院战略性先导科技专项（A/C类）2019年度工作会在京举行。中科院院长、党组书记白春礼出席会议并讲话，党组副书记、副院长侯建国，副院长、党组成员张亚平、相里斌、张涛，党组成员、秘书长邓麦村，副秘书长汪克强出席会议。中科院办公厅、前沿科学与教育局、重大科技任务局、科技促进发展局、发展规划局、条件保障与财务局、人事局、国际合作局、科学传播局负责人及相关人员，项目监理部及各先导专项（A/C类）监理组组长，专项及项目负责人、承担单位法人代表、专项总体组办公室主任等参加了会议。

会议听取了15个A类先导专项2018年工作进展及2019年工作计划报告，以及中科院重大科技任务局、科技促进发展局、发展规划局、条件保障与财务局等部门和项目监理部关于专项组织管理、宏观管理、财务管理及监理工作的报告。洁净能源先导专项组织各项目负责人、项目依托单位法人代表参会。



专项首席科学家、工程院院士刘中民向大会汇报了洁净能源专项2018年的工作进展等内容。院领导就专项遇到的问题与措施展开了讨论交流。侯建国、张涛等肯定了报告中提到的选择典型区域集中示范的措施，同时侯建国建议要切实了解各地方的煤品质储量等，考虑各地区煤的品质及储量对煤化工的影响。白春礼认为，洁净能源专项与煤专项不同，不能仅

仅只做到工业示范，同时要体现“变革性”和“有影响”，认同报告中提到的选择典型区域进行集中示范的措施。相里斌认为，要体现“变革性”，下一步工作应聚焦在二氧化碳和氢的利用。

会议报告结束后，相里斌与刘中民签订了 2019 年度专项实施责任书。

[中科院大连化学物理研究所 张哲]

专项研发进展

合成气制混合醇联产柴油万吨/年级工业示范催化剂

大连化学物理研究所研发的煤基合成气制高碳醇联产柴油工艺具有原始创新性和显著的优越性，拥有完全自主知识产权。高碳醇指 C6+醇，为高附加值产品，市场价格为 10000-15000 元/吨，广泛应用于塑料加工(C8-C10 醇增塑剂醇)，和高性能洗涤剂(C12-C14, C16-C18 洗涤剂醇)等多个领域，年需求量在百万吨级，并逐年上升。



目前，大连化物所和陕西延长石油集团公司合作，全球首次开展万吨/年合成气制高碳醇工业示范项目的研究。自 2019 年 2 月底第一批高碳醇催化剂按时运到榆林煤化公司项目现场，现已供应约 30 吨半干基催化剂。2019 年 3 月 22 日，榆林煤化公司开始进行高碳醇催化剂干燥工作，干燥设备运行正常，至 3 月 29 日共生产干基催化剂 2.4 吨。2019 年 3 月 28 日，榆林煤化公司开始高碳醇催化剂焙烧工作，焙烧反应器运行正常，预计 3 月 31 日第一批焙烧后催化剂生产完成。

高碳醇项目现场新增催化剂浆料储罐 V-0509C，和新增两个小产品储罐基础和框架正在施工中，已经完成现场接点确认，预计 5 月完成。

[中科院大连化学物理研究所 丁云杰]

燃煤工业锅炉高效低氮燃烧技术示范工程进入主体建设阶段



中国科学院工程热物理研究所循环流化床研发团队，针对工业锅炉量大面广减排困难的难题，以实现煤炭高效清洁燃烧、燃烧尾气中 NO_x 无须烟气净化系统达到超低排放为目标，开发了循环流化床高效低氮燃烧技术和煤粉预热燃烧技术；实现燃煤工业锅炉高效低氮燃烧，不采取任何烟气净化设备， NO_x 原始排放低于 50 mg/m^3 。

两项技术于 2018 年分别落实了技术示范工程：“兴隆庄矿电厂 75 t/h 循环流化床高温低氮燃烧工业锅炉”和“鲍店矿电厂 40 t/h 煤粉预热燃烧工业锅炉技术”示范项目，两个项目 NO_x 原始排放均低于 50 mg/m^3 。目前，两项技术示范均已进入锅炉主体建设阶段。



鲍店矿电厂 40 t/h 煤粉预热燃烧工业锅炉采用煤粉预热燃烧技术，极大地拓宽了燃料范围，该项目除燃用煤粉外，还可燃用煤泥，有利于实现煤炭资源的充分利用。该项目预计将于 2019 年 6 月建成并开展调试。兴隆庄矿电厂 75 t/h 循环流化床高温低氮燃烧工业锅炉采用循环流化床高温低氧及后燃技术，该项目计划于 2019 年 8 月建成并开展调试。

[中科院工程热物理研究所 李诗媛]

全国人大常委李静海到兖矿集团公司调研解耦炉具推广示范工作



2018年12月31日下午,全国人大常委、中国科协副主席、科技部党组成员、国家自然科学基金委员会党组书记、主任、中国科学院院士李静海到兖矿集团公司调研解耦炉具推广示范工作。

李静海表示,国家在部署实施蓝天保卫战三年行动计划时指出,清洁取暖要坚持从实际出发,宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热。在洁净型煤及配套炉具的推广使用上,要把节能环保和老百姓便捷使用放在首位,让更多的研发惠及老百姓,与百姓共享成果。

利用解耦炉具燃烧烟煤型煤也可达到“无烟排放”的标准,炉内固硫率可达60%以上,颗粒物排放与燃烧无烟煤或半焦相当,炊事功率高于1.5 kW。与传统燃煤炉燃烧散煤相比,利用解耦炉具时的 NO_x 排放可降低30%-45%,节煤量可达20%-30%。在中科院A类先导专项的支持下,中国科学院过程工程研究所与兖矿集团有限公司合作,已在山东邹城的多个乡镇和村庄推广解耦炉具2万余台,这使得邹城地区每年燃煤取暖可少烧煤1万多吨,大气污染物减排效果显著。解耦炉具通过推广试烧,各项技术指标是可行的,切实解决了老百姓生活用暖需求,达到了环保排放标准,老百姓对炉具接受程度和操作使用逐步达到了预期效果。

李静海还在兖矿集团公司董事长李希勇和总经理李伟的陪同下,参观了兖矿蓝天展览馆、兖矿科技公司,并到太平镇吴官庄村、千泉街道九里涧村村民家中查看解耦炉具使用情况。每到一户,李静海热情地与村民交谈,详细询问解耦炉具好不好用。当村民得知李静海专家团队就是解耦炉具研发团队时,大家纷纷上前主动和他握手,表达自己的感激之情。

[中科院过程工程研究所 刘新华]

“民用燃煤清洁取暖关键技术”通过专家评估

2019年3月26-27日,生态环境部科技发展中心在河北承德市召开“民用燃煤清洁取暖关键技术”技术评估会。该技术在中科院A类先导科技专项的支持下,由中科院过程工程研究所与兖矿集团有限公司合作开发。经过参观示范现场、会议质询和讨论,专家评估委员会认为采用“解耦炉具+洁净型煤”的煤炉匹配方式是解决我国散煤燃烧污染的经济有效途径,并一致同意通过技术评估。

评估会上,中国科学院过程工程研究所副所长朱庆山研究员回顾了过程工程所在1995年发明解耦燃烧技术、并在随后的二十多年里持续不断地发展和完善该技术的过程,强调了中科院与兖矿集团的紧密合作使得该技术得以在今天惠及广大燃煤取暖用户,并表示中国科学院过程工程研究所将一如既往地支持该项技术的研发与推广应用工作。兖矿集团公司总经理李伟表示,兖矿将以此次评估会为契机,巩固示范成果,推广承德经验,创新商业模式,打造一批清洁供暖示范工程。承德市政府副市长刘宏伟认为解耦燃煤炉和洁净煤方案有效解决了氮氧化物、硫化物超标排放问题,达到了预期效果。这为解决冬季大气污染、有序推进承德市乃至北方地区清洁取暖整治提供了科学途径和有益借鉴。

评估会邀请中国工程院院士倪维斗、岳光溪等10名专家学者对“民用燃煤清洁取暖关键技术”进行技术评估。中国科学院过程工程研究所刘新华博士和兖矿集团有限公司白丁荣博士分别代表各自单位在会上作了技术研究报告。通过查看现场、听取技术报告、审查相关资料、专家质询和讨论等环节评估,评估委员会认为“民用燃煤清洁取暖关键技术”通过烟煤型煤提质改性和解耦燃烧炉具的结合,实现了中国散煤清洁燃烧,整体技术达到国际领先水平。为我国下一步科学精准施策,有序推进北方地区清洁取暖提供技术支撑和示范标杆,其经济、社会、环境效益显著,应用前景广阔。评估委员会一致同意通过技术评估。

生态环境部环境工程评估中心党委书记凌江主持会议。生态环境部科技财务司、科技发展中心、环境工程评估中心，河北省生态环境保护厅，山东省发展与改革委员会，中国科学院重大科技任务局，中国科学院过程工程研究所，承德市人民政府，兖矿集团有限公司，中煤环保工程有限公司相关领导参加评估会。

[中科院过程工程研究所 刘新华]

无焰燃气热水器实现双超低排放并获爱普兰产品奖

2019年3月16日，由中国科学院大连化学物理研究所与美的集团联合研发的COLMO无焰燃气热水器（JSQ30-CW16F2）荣获中国家电协会颁发的AWE艾普兰产品奖并荣登该榜单榜首。艾普兰产品奖是对家电产品特定细分品类中最新优产品的奖励。该款热水器摒弃了常规火焰燃烧技术方案，采用大连化学物理研究所自主研发的无焰燃烧技术和无焰燃烧器，实现了燃烧充分且没有明火危险，为我国燃热行业降低有害物排放、减少安全风险提供了全新的解决方案。

传统燃气热水器在燃烧时，会产生大量氮氧化物（ NO_x ）和一氧化碳（CO）。 NO_x 是造成大气污染的重要原因，而CO中毒风险是燃气热水器消费者最大的安全隐患。传统热水器采用常规火焰技术难以同时降低 NO_x 和CO，由此带来的安全与环保问题一直制约着我国燃气热水器行业发展。

大连化学物理研究所自主研发的新型无焰燃烧技术和无焰燃烧器，变革性地将催化燃烧、微通道燃烧、高温空气燃烧和蓄热燃烧融为一体，使燃气和空气混合气在无焰燃烧器上以红热状态完全反应生成二氧化碳和水，有效的消除了极低和极高温区域，同时显著减少 NO_x 和CO。经国家燃气用具产品质量监督检验中心（佛山）检验，CO、 NO_x 排放均低于10 ppm，远低于国家家用燃气快速热水器标准（GB6932-2015）。此外，采用无焰燃烧还大幅降低燃烧噪音并显著增强抗风能力。

我国燃气热水器销量巨大，年均销量超过千万台。采用该无焰燃烧技术， NO_x 排放将得到有效控制，年减排潜力超过万吨级。按照计划，该产品将于 2019 年底前上市推广。

[中科院大连化学物理研究所 李为臻]

中国科大在可见光催化脱羧偶联反应领域取得重要突破

光催化利用光照来激发电子引发化学反应，能够在温和条件下实现化学键的断裂与重组。相比于传统的加热反应，具有绿色清洁、安全环保和易于控制等优点。近年来，光催化反应在合成化学领域不断取得突破，一系列光催化反应体系被发现，并成功应用于各种复杂化合物的合成中，展现出突出的合成价值和应用潜力。然而，目前光催化剂主要为贵金属配合物（Ir、Ru 等）和有机染料，催化体系通过吸收可见光来激发电子从基态跃迁到激发态，进而与底物发生单电子转移（SET）实现催化循环（图 1-1）。而这种可见光诱导的分子内电荷转移需要分子中含有大 π 离域结构或者金属-配体络合共轭产生带隙，才能在低能量可见光范围内具有吸收效应，因此为了实现可见光激发的电子跃迁，需要引入复杂分子结构，会不可避免地增加光催化剂的成本。

光诱导分子间的电荷转移可以通过非共价键的方式在电子给体和受体之间发生，并不限定每一个底物（给体或受体）都要在特定波长范围内具有吸收效应，只需要满足给体和受体结合形成的复合物在特定波长的范围内具有吸收即可，这样就可以简化光催化体系构成，降低催化剂成本。虽然这种光能利用方式广泛已应用于光伏器件中，但以催化还原催化循环的机制应用于合成领域仍是未被提出过的新概念。

中国科学技术大学傅尧和尚睿研究团队长期致力于发展生物质来源的有机羧酸脱羧转化领域的研究。基于绿色催化的理念，该团队首次提出了基于可见光激发的分子间电荷转移用于光氧化还原催化的新概念，发现了一种简单易得、高效环保的非金属阴离子复合物光

催化体系，成功实现了温和条件的脱羧偶联反应，突破了传统反应需要贵金属光催化剂或有机染料的限制。研究成果以“Photocatalytic decarboxylative alkylations mediated by triphenylphosphine and sodium iodide”为题，于 2019 年 3 月 29 日以研究长文的形式在线发表在国际权威期刊《Science》上。

文中通过理论计算发现碘化钠、三苯基磷以及活性羧酸酯通过库仑力形成电荷转移复合物（CTC）释放能量值为 3.8 kcal/mol。按照 Marcus 理论，碘到邻苯二甲酰亚胺片段的电子转移能垒为 61.2 kcal/mol，而不加入三苯基磷时，类似的电子转移过程必须要克服更高的能垒（86.5 kcal/mol）。三苯基磷一方面可以促进电子的转移，另一方面可以捕获碘自由基形成 $\text{Ph}_3\text{P}-\text{I}\cdot$ 。理论计算结果表明 $\text{Ph}_3\text{P}-\text{I}\cdot$ 具有还原能力，其自旋密度离域于碘原子和磷原子之间，这种阴离子复合物类似于氧化还原型光催化剂的氧化态的形式，具有参与构建光诱导的氧化还原循环圈的可能（图 1-2）。

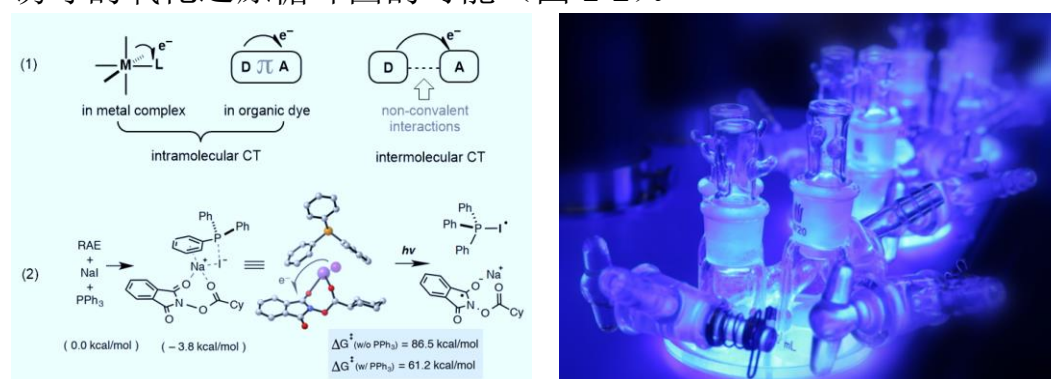


图 1. 光催化剂体系和电荷能量转移模型（左）、光催化反应装置（右）

结合上述理论计算研究，该研究团队成功实现了催化脂肪酸衍生物脱羧反应，生成的烷基自由基中间体可以和多种底物结合，实现温和条件下的 Minisci 反应和 Heck 反应。通过该催化体系，多种天然、非天然氨基酸可以与烯醇硅醚发生反应，并且放大到克级规模时仍可保持较高的催化效率，为 β -氨基酮类化合物的制备提供一种有效途径。更有价值的是，该催化体系与商业化的手性磷酸协同催化时，氨基酸可以与氮杂环反应，实现氮杂环 C2 位不对称 α -氨基烷基化反应，为含氮杂环类药物分子的不对称修饰提供了一种有效手段。此外，天然

产物和合成化学品中广泛存在的烷基胺类衍生物还可以发生脱氨 Heck 反应。(图 2)。

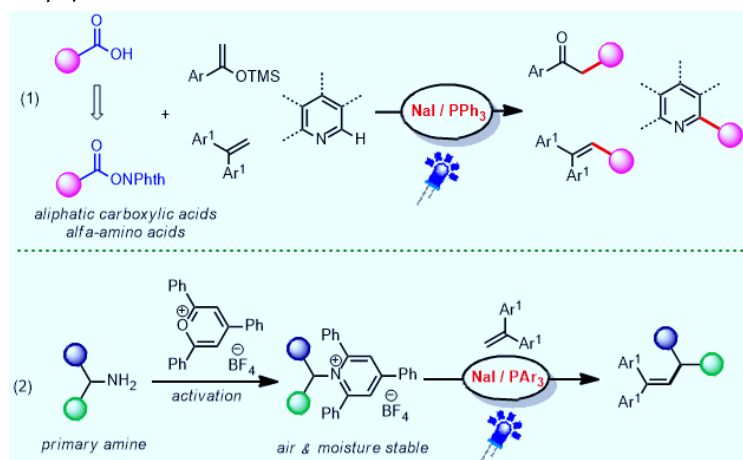


图 2. 光诱导非金属阴离子复合物催化的脱羧脱胺偶联反应

这种新型非金属阴离子复合物光催化体系大大降低了催化剂成本，可应用于多种重要的功能分子的合成，解决了过渡金属在功能化合物和药物合成中残留等问题，为生物质羧酸分子转化、手性药物合成和多肽修饰提供了新的手段，具有重要的合成化学价值和良好的工业应用前景。

论文链接：<http://science.sciencemag.org/content/363/6434/1429>

[中国科学技术大学 傅尧]

国际首台大规模压缩空气储能中高温蓄热实验平台调试完成

近日，研究所储能研发中心团队自主设计研发的国际首台大规模压缩空气储能中高温蓄热实验平台在研究所毕节分所暨国家能源大规模物理储能技术（毕节）研发中心完成调试，各项性能参数均达到或超过设计指标。该平台的成功研制将有力促进大规模压缩空气储能技术和新型蓄热技术的研发和产业化。

大规模压缩空气储能中高温蓄热实验平台主要由冷热源制备系统、冷热源存储系统、蒸汽发生系统、过热系统、测量与控制系统等部分组成。可实现温度范围常温~600℃、测试功率高达 10 MW 和测试容量为 10 MWh 的实验条件，利用现代化工业自动化控制系统，可

以实现远程检测与控制。依托该实验平台可以针对蓄热单元与系统开展不同温度、压力和流量条件下的实验研究与性能检测。



基于该平台开展的科学研究，可以深入地了解大规模中高温蓄热单元与系统在该运行参数下的热力学、传热学和渗流/流体力学的特点，为新型蓄热材料在蓄热领域的扩充提供有力的支持

为突破大规模中高温蓄热装置与系统的关键科学技术问题，支撑 10 MW-100 MW 级大规模先进压缩空气储能，以及太阳能热发电和工业余热利用等提供关键实验平台支撑。

[中科院工程热物理研究所 于冬]

百千瓦时级钠离子电池储能电站示范运行

全球能源消费转型迫在眉睫，储能技术的研发与应用是能源结构变革的关键，世界各国围绕核心技术展开激烈竞争。当前，压缩空气储能、高温钠电池、铅酸电池、液流电池、锂离子电池等储能技术并行发展，并在破除地域、环境和资源等制约条件方面各有千秋。近年来，钠离子电池因其资源丰富、成本低廉、灵活便携、能量转换效率高、循环寿命长、免维护、安全性能好等诸多优势，受到广泛关注，极具应用前景和 market 价值。

中国科学院物理研究所自 2011 年起致力于低成本、安全环保、高性能钠离子电池关键材料与技术的研发，独立开发了具有完全自主知识产权的钠离子电池体系。2017 年中科院物理所联合中科海钠公司在江苏溧阳开展中试技术研究，有序推进关键材料放大制备和生产、电芯设计和研制、模块化集成与管理。目前，已经建立了百吨级的正、负极材料生产线，建成了 MWh 级产能的电芯生产线，开发出能量密

度为 120 Wh/kg，循环寿命达 2000 周的钠离子电芯，完成了钠离子电池在电动自行车、家庭储能柜和低速电动车上的示范运行，确立了我国在钠离子电池基础研究和产业化的国际领先地位。

2019年3月29日，世界首座 100 kWh 钠离子电池储能系统诞生，并成功为中科院物理所长三角研究中心供电，可实现“谷电峰用”的用电模式，标志着我国率先实现了钠离子电池储能系统的示范运行。该项成果是钠离子电池技术在储能领域的重要示范，有效回应了绿色、高效、安全等能源变革的新需求。下一步将开展 1 MWh 钠离子电池储能系统的研制与示范并加快市场应用，推动我国清洁能源技术应用迈向新台阶，提升我国在储能技术领域的竞争力与影响力。

[中科院物理研究所 胡勇胜]

国内视点

风光发电平价上网新政出台 普惠制补贴成历史

1月9日，国家发展改革委、国家能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》，对促进风电、光伏发电平价上网作了部署。

近年来，随着风电、光伏发电规模化发展和技术快速进步，在资源优良、建设成本低、投资和市场条件好的地区，已基本具备与燃煤标杆上网电价平价（不需要国家补贴）的条件。

通知提出，在资源条件优良和市场消纳条件保障度高的地区，引导建设一批上网电价低于燃煤标杆上网电价的低价上网试点项目。各级地方政府能源主管部门可会同其他相关部门出台一定时期内的补贴政策，对享受地方补贴的项目仍视为平价上网项目。

事实上，随着光伏装机快速攀升，财政补贴缺口持续扩大。机构统计显示，目前我国可再生能源发电补贴缺口已超过 1200 亿元。在此情况下，引导市场各方减少补贴依赖、转变发展思路，结合资源、

消纳和新技术应用等条件，将发展重点从扩大规模转到高质量发展上来。

在国网能源研究院新能源与统计研究所所长李琼慧看来，光伏等新能源长期依赖补贴的发展方式已走不通，在新能源整体规模已较大的情况下，鼓励支持那些技术好、成本低的新能源企业，有利于发挥其示范带头作用。

通知明确，对平价上网项目和低价上网项目，要在土地利用及土地相关收费方面予以支持；电网企业应确保项目所发电量全额上网；国家开发银行、四大国有商业银行等金融机构要合理安排信贷资金规模，创新金融服务等，积极支持新能源发电实现平价上网。

值得注意的是，文件特别强调电网公司要与项目签署长达“20年”的购售协议。此举明确了试点收益预期，避免了未来可能因电价下降带来的风险，旨在帮助新能源企业解决融资难问题。

在区域布局上，通知要求风电、光伏发电监测预警为红色的地区，除已安排建设的平价上网示范项目及通过跨省跨区输电通道外送消纳的无补贴风电、光伏发电项目外，原则上不安排新的本地消纳平价上网项目和低价上网项目。李琼慧认为，从长远看，上述系列举措将带来新的增量市场，不仅提振了市场信心，还为电力市场和行业发展带来了实质性利好。当务之急是推动政策尽快落地。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据《经济日报》新闻编辑]

文章来源：http://www.ce.cn/cysc/ny/gdxw/201901/11/t20190111_31232253.shtml

新型金属催化剂在超宽温度区间内高效去除 H₂ 中微量 CO

氢能是一种理想的清洁能源。氢燃料电池汽车（FCEV）以 H₂ 为燃料，能量转化效率高且“零”排放，是未来新能源清洁动力汽车的主要发展方向之一。现阶段，H₂ 主要来源于甲醇和天然气等碳氢化合物的水蒸汽重整、水煤气变换反应等，通常含有 0.5~2% 的微量 CO。这些杂质 CO 极易毒化氢燃料电池汽车“心脏”（燃料电池电极）

的 Pt 催化剂，致使电池性能降低和寿命缩短。氢燃料电池的 CO 中毒已经成为严重限制氢燃料电池汽车推广困难的一个关键难题。车载去除 H₂ 中微量 CO 的最理想方式是富氢氛围 CO 优先氧化 (PROX)。然而，现有 PROX 催化剂工作温度相对较高（室温以上）且区间窄，无法在寒冷条件下为氢燃料电池频繁冷启动过程中提供有效保护。

针对该技术难题，中国科学技术大学路军岭、韦世强、杨金龙等课题组开展了合作研究。路军岭课题组利用原子层沉积 (ALD) 技术中的二茂铁金属源在贵金属表面解离吸附以及分子间空间位阻效应的特性，成功地在 SiO₂ 负载的 Pt 金属纳米颗粒表面上，原子级精准地构筑出单位点 Fe₁(OH)_x 物种，进而促成了丰富的、具有超高活性和高稳定性的 Fe₁(OH)_x-Pt 单位点界面催化活性中心的形成。在 PROX 反应中，该催化剂表现出高比质量催化活性 ($5.21 \text{ mol}_{\text{CO}} \times \text{h}^{-1} \times \text{g}_{\text{Pt}}^{-1}$)，是传统 Pt/Fe₂O₃ 催化剂的 30 倍，Pt₁/FeO_x 单原子催化剂的 8 倍。韦世强课题组采用原位 X 射线吸收谱 (XAFS) 实验技术，探测到 Fe₁(OH)_x 物种在 PROX 反应气氛中的结构是 Fe₁(OH)₃，Fe₁ 原子与 Pt 纳米颗粒表面 Pt 原子形成 Fe₁-Pt 的金属键，并且发现该物种具有超高还原特性，在室温就可实现 H₂ 还原生成 Fe₁(OH)₂，揭示了其高催化活性的内在原因。杨金龙课题组理论计算确定了 Fe₁(OH)₃ 在 Pt 表面上的空间构型，证实 Pt 颗粒表面上形成的 Fe₁(OH)_x-Pt 单位点界面是其催化活性中心，并揭示了其催化反应机理：吸附的 CO 首先进攻其中一个 OH，形成 COOH 表面中间物种，此后 O₂ 在该界面处以极低的势垒活化，形成的原子 O 随后进攻 COOH，最终生成 CO₂。

本研究工作首次在 -75℃ 至 110℃ 的超宽温度区间，成功选择性地完全去除 H₂ 中的微量 CO，突破了现有 PROX 催化剂工作温度区间相对较高且窄的局限，为氢燃料电池在多种极端条件（频繁冷启动和连续运行期间）下避免 CO 中毒提供了一种全方位的有效保护手段，从而为未来氢燃料电池汽车的推广扫清了一重大障碍，也为人们设计

高活性、高稳定性的金属催化剂提供了新思路。相关研究成果 1 月 31 日发表在《*Nature*》¹。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据国家自然科学基金委员会新闻编辑]
文章来源: <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab448/info75267.htm>

国际瞭望

国际能源大宗商品市场形势分析及预测

根据国际能源署 (IEA) 3 月 26 日发布的《2018 年全球能源和碳排放报告》², 由于全球经济的强劲增长和部分地区对制冷和供暖的需求增加, 2018 年全球能源消费增长达 2.3%, 几乎是 2010-2017 年期间年平均增长率的两倍。即使太阳能和风能增幅达两位数, 以天然气为主的化石燃料需求仍在上升, 化石燃料需求增幅连续第二年接近 70%, 中国、美国和印度占全球能源需求增长近 70%。2018 年, 受全球经济变化、OPEC 减产、美国对伊朗制裁以及“维也纳联盟”减产协议等多种因素影响, 石油价格波动较大; 全球煤炭需求连续第二年增长; 天然气引领全球能源需求增长 (占总能源需求增量的 45%), 并将在未来两年产量持续增加。我们结合国际能源署 (IEA)、美国能源信息署 (EIA) 和石油输出国组织 (OPEC) 近期发布的相关报告对能源大宗商品 (石油、天然气、煤炭) 市场情况进行了分析, 并对发展趋势做了预测。

1、石油价格响应欧佩克履行减产协议近期看涨

根据今年 3 月 EIA 发布的短期能源展望³和 IEA 发布的月度石油市场报告⁴, 2019 年 2 月布伦特原油平均价格为 64 美元/桶, 环比增长 5 美元/桶, 同比下降 1 美元/桶, 布伦特-WTI 差价维持在近 10 美

¹ Lina Cao, Wei Liu, Qiquan Luo, et al. Atomically dispersed iron hydroxide anchored on Pt for preferential oxidation of CO in H₂. *Nature*, 2019, DOI: 10.1038/s41586-018-0869-5

² Global Energy & CO₂ Status Report. <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018>

³ SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK. <https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/index.php>

⁴ Oil Market Report. <https://webstore.iea.org/oil-market-report>

元。2 月份原油价格上涨的主要原因是 OPEC 国家和美国原油产量下降，使全球石油库存量减少 140 万桶/日，是自 2017 年 6 月以来库存下降最大的一个月。尽管过去一年石油价格波动较大，但 2019 年 3 月第一周的布伦特原油价格与去年 3 月基本持平（图 1）。2018 年布伦特原油均价为 71 美元/桶，EIA 预计 2019 年均价为 63 美元/桶，2020 年则为 62 美元/桶，2019 年上半年 WIT 原油价格将比布伦特原油价格低 9 美元/桶，在 2019 年第四季度及 2020 年期间，差价将逐渐缩小至 4 美元/桶。

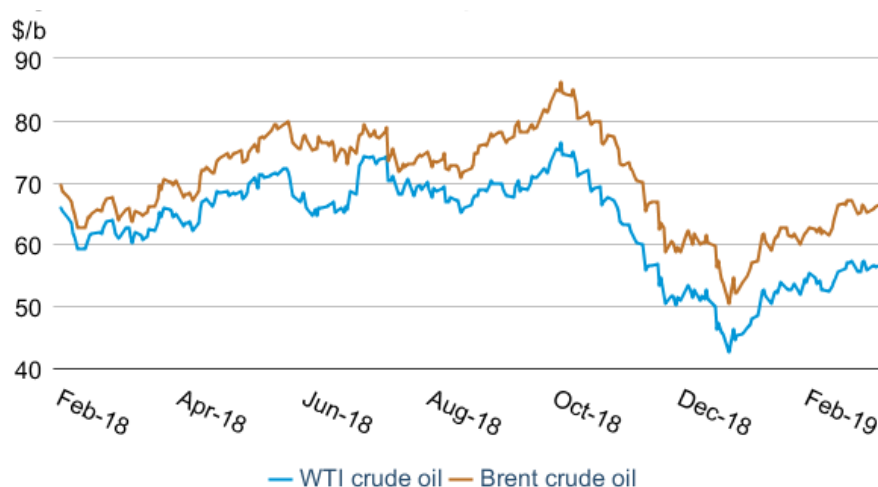


图 1 至 2019 年 2 月布伦特和 WTI 原油价格变化曲线

数据来源：EIA. 2019-03-12. SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK.

需求方面，2018 年第 4 季度，全球石油需求增量大幅放缓至 95 万桶/日（第三季度为 150 万桶/日），OPEC 国家石油需求同比下降 30 万桶/日，欧洲和亚洲石油需求也出现大幅下滑，北美石油需求在第四季度增加 30 万桶/日，远低于第三季度的 70 万桶/日。由于油价上涨，2018 年全年全球石油需求增长 1.3%，增量为 130 万桶/日，低于 2017 年的 170 万桶/日，美国（54 万桶/日）和中国（44.5 万桶/日）的增幅最大，欧洲停滞不前，日本和韩国的需求下降，非 OECD 国家需求共增长 96.5 万桶/日。大型石化项目的启动推动了石油产品需求，液化石油气（LNG）和乙烷需求在 2018 年强势上升，两者占石油需求总增长的 44%，由于中国和印度航空业的蓬勃发展，喷气燃料占全球石油需求总增量的 20%。

据 IEA 估计,2019 年全球石油需求将增长 140 万桶/日达到 1.006 亿桶/日, OECD 国家石油需求将增长 33.5 万桶/日, 与 2018 年接近 (31 万桶/日), 非 OECD 国家将增长 105 万桶/日 (图 2)。受美国石化需求的推动, 2019 年美洲石油需求将增长 40 万桶/日, 亚洲则将增加 70 万桶/日, 中东石油需求将扭转 2018 年的下降趋势, 增长 10 万桶/日。OPEC 在今年 3 月的月度石油市场报告⁵中的预测更为保守, 认为 2019 年全球石油需求将增长 124 万桶/日达到 9996 万桶/日, 其中 OECD 国家将增长 24 万桶/日, 非 OECD 国家则将增加 100 万桶/日。

Global Oil Demand (2017-2019)
(million barrels per day)*

	1Q17	2Q17	3Q17	4Q17	2017	1Q18	2Q18	3Q18	4Q18	2018	1Q19	2Q19	3Q19	4Q19	2019
Africa	4.4	4.3	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.4	4.3	4.5	4.4	4.3	4.4	4.4
Americas	30.9	31.6	31.7	31.8	31.5	31.6	31.7	32.3	32.1	31.9	32.0	32.2	32.6	32.3	32.3
Asia/Pacific	34.2	34.1	33.5	34.7	34.1	35.1	34.7	34.3	35.2	34.8	35.7	35.3	35.0	36.1	35.5
Europe	14.5	15.0	15.5	15.2	15.0	14.8	15.0	15.4	14.9	15.0	14.7	15.1	15.5	15.1	15.1
FSU	4.3	4.5	4.7	4.6	4.5	4.5	4.6	4.9	4.8	4.7	4.6	4.7	5.0	5.0	4.8
Middle East	8.2	8.7	8.9	8.2	8.5	8.2	8.5	8.8	8.2	8.4	8.1	8.6	8.9	8.2	8.5
World	96.6	98.1	98.4	98.7	97.9	98.5	98.8	99.9	99.6	99.2	99.6	100.4	101.3	101.1	100.6
Annual Chg (%)	1.0	2.1	1.5	1.6	1.6	2.0	0.7	1.5	1.0	1.3	1.1	1.6	1.3	1.5	1.4
Annual Chg (mb/d)	1.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.9	0.7	1.5	0.9	1.3	1.1	1.6	1.3	1.5	1.4
Changes from last OMR (mb/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.5	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.3	0.0

* Including biofuels

图 2 2017 至 2019 年世界石油需求

数据来源: IEA. 2019-03-15. Oil Market Report.

供给方面, 去年下半年沙特阿拉伯、俄罗斯和伊拉克创纪录的石油产量使石油库存大量增加, 导致 OPEC、俄罗斯和其他几个非 OPEC 国家达成今年 1-6 月减产 120 万桶/日的协议。OPEC 和非 OPEC 国家连续 2 个月的减产, 加上生物燃料产量的季节性下降, 导致 2019 年 2 月全球石油产量减少了 34 万桶/日, OPEC 国家原油产量为 3068 万桶/日, 环比下降 24 万桶/日, 同比下降 110 万桶/日。2018 年, 非 OPEC 国家石油产量增长了 280 万桶/日, 其中美国占到 79%。

EIA 估计 2019 年全球石油库存量将增加 20 万桶/日, 2020 年则将增加 40 万桶/日。2019 年 2 月沙特阿拉伯原油减产幅度超过预期, 预估产量为 1000 万桶/日。此外, 截至 3 月 8 日, 美国活跃石油钻井

⁵ Monthly Oil Market Report. https://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm

平台数达到 10 个月内的最低点，表明美国石油产量增速可能放缓，因此 EIA 预测 2019 年美国石油产量将增加 130 万桶/日，2020 年则将增加 70 万桶/日。IEA 则预测 2019 年非 OPEC 国家的石油供应增长将降至 180 万桶/日，其中美国石油供应量将增加 150 万桶/日，占非 OPEC 国家总增量的 83%。OPEC 预测，至 2019 年 4 月加拿大和苏丹的产量将高于预期，预计 2019 年非 OPEC 国家石油产量将增加 224 万桶/日达到 6443 万桶/日，OPEC 国家的天然气凝液（NGL）和非常规液体燃料产量将增加 9 万桶/日达到 507 万桶/日。由于美国制裁伊朗和委内瑞拉危机对全球石油市场的影响，OPEC 于 3 月 18 日宣布取消原定于 4 月举行的会议，将在 6 月开会决定是否延长减产。

2、煤炭需求受中国减煤行动影响增长趋缓

根据 IEA 《2018 年全球能源和碳排放报告》，2018 年全球煤炭需求连续第二年增长，但增幅（0.7%）远低于 2000-2010 年期间的年增长率（4.5%），且在能源构成中的占比持续下降。尽管如此，煤炭仍是最大的电力来源，并在一次能源中居第二位。煤炭需求增长主要发生在中国、印度等亚洲国家，其主要原因是电力需求的增加。印度的发电和钢铁行业的蓬勃发展使其电力需求大幅增加，新增太阳能和风能发电量不到电力需求增量的 1/3，促使煤炭需求增长了 5%。中国燃煤发电消耗的煤炭占全世界的 1/4，但由于中国实施的环境政策减少了建筑和工业用煤，2018 年中国电力需求大幅增长导致的煤炭需求增长被建筑和工业部门的需求下降抵消，煤炭总需求增加 1%。日本和韩国在经历 2017 年煤炭需求大幅增长超过 6% 以后，2018 年煤炭需求略有下降。而在欧洲和北美，由于环境政策、低成本可再生能源和美国丰富的天然气资源，煤炭需求持续下降。2018 年美国煤炭需求继续下降至上世纪 70 年代以来的最低水平，煤炭在电力结构中占比也降至最低（近 29%）。2018 年欧洲煤炭需求下降 2.6%，德国的燃煤发电失去了其主导地位。

3、美中两国带动天然气需求大幅增长

根据 IEA 《2018 年全球能源和碳排放报告》，由于能源需求增长和天然气被作为替代煤的燃料进行推广，2018 年天然气需求增长 1700 亿立方米，是自 2010 年天然气需求反弹以来的最大增幅(4.6%)，远超过去五年的平均增长率（1.5%）占全球能源需求增长的 45%。由于替代煤而造成的需求增长接近 400 亿立方米，超过天然气需求总增量的 1/5。美国和中国占了全球天然气增量的 70%。美国的天然气需求增长最多（800 亿立方米），增幅达 10.5%，是上世纪 50 年代以来的最高水平。造成这一增长的主要原因是发电和建筑对天然气的需求增加，天然气替代煤进行发电使美国天然气需求增加了 180 亿立方米，天然气在美国电力结构中的占比达到了创纪录的 34%。2018 年中国天然气需求增长近 18%，增量达 420 亿立方米，是“十三五”规划以来增长最快的一年。2018 年中国成为世界最大天然气进口国，天然气占中国一次能源需求的 8%。造成这一增长的主要原因是国家政策限制煤炭的使用，天然气替代煤炭导致的天然气增长达到 170 亿立方米。

根据 EIA 《短期能源展望》，预计到 2020 年底天然气总供应量将超过需求量。2019 年 1 月，天然气供应量（产量加进口量）的最近 12 个月均值超过了天然气需求量（消费加上出口）的最近 12 个月均值，是自 2017 年 12 月以来的首次。EIA 预测，2019 年和 2020 年天然气产量将继续增加，并创下历史新高。此外，根据大型公司的报告，EIA 预计今年新增的液化天然气（LNG）产能将于 2019 年第二季度投产，供应量的 12 个月均值将超过需求，供应增长将使天然气库存水平回到近五年平均水平，有助于保持天然气价格稳定。

欧盟发布面向 2050 氢能发展路线图

2 月 11 日，欧洲燃料电池和氢能联合组织（FCH-JU）发布《欧

洲氢能发展路线图：欧洲能源转型的可持续发展路径》报告⁶，提出了面向 2030、2050 年的氢能发展路线图，为欧洲大规模部署氢能和燃料电池指明方向，阐明了发展氢能的社会经济效益：到 2030 年氢能产业将为欧盟创造约 1300 亿欧元产值，到 2050 年达到 8200 亿欧元。报告最后为氢能产业各利益相关方提出了战略性发展建议，认为欧洲能源转型必须大规模部署氢能，发展氢能具有重大的社会经济环境效益，并给出了氢能发展前瞻性战略建议。

⁶ Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition.
https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

版权及合理使用声明

《变革性洁净能源关键技术与示范研究发展动态》（简称《洁净能源专项动态》）由中国科学院A类战略性先导科技专项资助、中国科学院大连化学物理研究所和中国科学院武汉文献情报中心合办，洁净能源先导专项管理办公室负责编辑出版。《洁净能源专项动态》反映中国科学院“变革性洁净能源关键技术与示范”A类战略性先导科技专项的研究成果以及国际发展动态。《洁净能源专项动态》遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《洁净能源专项动态》用于任何商业或其他营利性用途。未经中国科学院大连化学物理研究所同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中国科学院大连化学物理研究所允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关内容。任何单位要链接、整期发布或转载《洁净能源专项动态》内容，应向中国科学院大连化学物理研究所发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并中国科学院大连化学物理研究所签订协议。欢迎对《洁净能源专项动态》提出意见与建议。



中国科学院大连化学物理研究所

地址：大连市中山路457号
电话：0411-84379960



中国科学院武汉文献情报中心

地址：武汉市武昌区小洪山西25号
电话：027-87199180