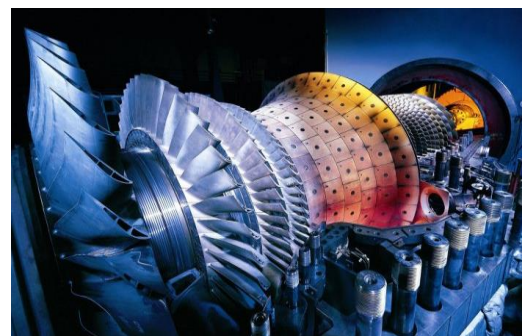


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 国际原子能机构预测 2050 年全球核电发展趋势
- 日本发布《氢能和燃料电池技术开发战略》
- IEA：全球天然气市场继续强劲增长 供应愈加灵活多样
- 全球市场洞察：2025 年能源区块链市场将达 30 亿美元
- 欧洲投资银行向意大利提供 2.5 亿欧元贷款支持聚变能研究

主管：中国科学院文献情报系统战略情报服务协调组

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:

郭楷模

guokm@whlib.ac.cn

电话:

027-87199180



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

国际原子能机构预测 2050 年全球核电发展趋势2
日本发布《氢能和燃料电池技术开发战略》5
IEA: 全球天然气市场继续强劲增长 供应愈加灵活多样7
全球市场洞察: 2025 年能源区块链市场将达 30 亿美元9

项目计划

欧洲投资银行向意大利提供 2.5 亿欧元贷款支持聚变能研究10
英国法拉第研究院资助 5500 万英镑研发先进储能技术11
DOE 资助 5600 万美元支持先进煤炭技术研发12
DOE 资助 3000 万美元改善能源输送系统网络安全13

前沿与装备

基于全固态陶瓷电解质的高能量密度锂电池体系14
绿色双量子点共敏化工艺创造量子点太阳能电池效率纪录15
3D 打印自修复柔性可伸缩热电发电机16
Pd@Au 核壳纳米合金催化剂实现 CO₂ 到 CO 高效催化还原17

本期概要

国际原子能机构（IAEA）发布了新版《至 2050 年能源、电力和核电预测》报告，分析预测了到 2050 年全球以及各地区核能的发展趋势：到 2050 年全球终端能源消费总量将以约 1% 的增速增长 28%，而电力消耗则将增长 91%，其在全球终端能源消费占比将从 18.8% 提升至 26.1%。保守情景假设维持当前的政策、技术、市场趋势不变，并按期淘汰现有核电站，预计到 2050 年全球核电装机容量将比 2018 年减少 6% 至 371 吉瓦；乐观情景假设延长现有核电站运行寿命，且对各国政策、技术和市场发展有更乐观的估计，到 2050 年全球核电装机容量则将增长 81% 至 715 吉瓦。

日本发布《氢能与燃料电池技术开发战略》，确定了燃料电池技术、氢能供应链、水电解产氢 3 个重点技术领域 10 个研发方向，以加速推进氢气制备、存储、利用等技术的实用化进程：燃料电池领域包括车用燃料电池、固定式燃料电池、辅助设备（如储氢罐）；氢能供应链领域包括大规模制氢、氢气存储运输技术、氢能发电和加氢站；电解水产氢领域包括电解水产氢技术、产业应用和新型光解水产氢技术开发。

国际能源署（IEA）发布《2019 年全球天然气安全评估报告》，总结了 2018 年全球天然气需求及国际市场发展现状，并重点分析了亚洲、西北欧等主要天然气进口市场的情况：全球天然气需求在丰富多样的供应来源支持下强劲增长，液化天然气（LNG）仍是国际贸易发展的关键推动力，连续三年实现了两位数增长。LNG 现货交易、自由目的地供货合同等份额的增加表明 LNG 市场更加灵活多样，LNG 合同向大型、长期、灵活方向发展。LNG 市场的创新模式提升了亚洲进口市场的供应安全性，亚洲传统买家有可能成为 LNG 二级市场的经销商，为市场带来更大灵活性。然而，天然气产量下降和能源系统转型将对西北欧地区的天然气安全带来极大的挑战。

全球市场洞察咨询公司（Global Market Insights）的最新研究报告预测了用于能源领域的区块链技术的未来市场规模：到 2025 年能源区块链市场规模复合年均增长率将超过 50%，从 2018 年的 2.2 亿美元增至 2025 年的 30 亿美元。报告分析预测了区块链技术在能源领域的应用及市场前景，并针对美国、欧盟等区域市场进行了重点分析。

欧洲投资银行（EIB）在欧洲投资计划支持下向意大利提供 2.5 亿欧元贷款支持核聚变研究：该笔资金将用于在意大利罗马附近的弗拉斯卡蒂建立一个开创性的偏滤器托卡马克试验设施（DTT），主要用于解决核聚变的热控制问题，以推进欧盟到 2050 年实现聚变能发电。DTT 将研究适合未来核聚变发电站反应堆的分流器，该设备用超导磁体约束等离子体，在等离子体的边缘用不同形状的偏滤器将热流扩散到更大的区域，还可以测试例如液态锂之类的偏滤器耐热材料。该项目的总投入为 5 亿欧元，EIB 将为其提供 2.5 亿欧元贷款。此外，欧洲核聚变研究联盟（EUROfusion）将在地平线 2020 计划框架下提供 6000 万欧元，意大利教育、大学与研究部（MIUR）和意大利经济发展部（MISE）各出资 4000 万欧元，拉齐奥大区也将投入 2500 万欧元资金。

国际原子能机构预测 2050 年全球核电发展趋势

9月10日，国际原子能机构（IAEA）发布了新版《至2050年能源、电力和核电预测》报告¹，详细分析了到2050年全球以及各地区核能的发展趋势。报告指出，到2050年全球终端能源消费总量将以约1%的增速增长28%，而电力消耗则将增长91%，其在全球终端能源消费占比将从18.8%提升至26.1%。假设维持当前的政策、技术、市场趋势不变，并按期淘汰现有核电站（即“保守情景”），预计到2050年全球核电装机容量将比2018年减少6%至371吉瓦；假设延长现有核电站运行寿命，且对各国政策、技术和市场发展有更乐观的估计（即“乐观情景”），到2050年全球核电装机容量则将增长81%至715吉瓦。具体内容如下：

一、2018 年全球能源消费及电力生产情况

2018年，电力在全球终端能源消费中占比达19%排名第二，居于石油（40%）和天然气（15%）之间（图1）。预计未来几年电力消耗增速将超过终端能源消费增速，电力在终端能源消费总量中的占比将上升。北美地区2018年终端能源消费的主要来源是石油，其次是天然气（23%）和电力（21%）。北欧、西欧和南欧地区的终端能源消费仍以化石燃料为主，电力占22%。东欧地区终端能源消费较为多样化，石油占30%，天然气占26%，电力和煤炭分别占14%和10%。化石燃料占了中、东亚地区终端能源消费的2/3，电力则占23%。

2018年世界总发电量增长了3.9%，核能发电量则增长了2.4%。在各种发电来源中，尽管可再生能源和天然气发电量有显著的增长，但燃煤发电依旧占主导地位。天然气发电量约占总发电量的23%，水电和可再生能源发电的贡献率继续大幅提高，2018年其占比达到了25.8%，核电占比则保持在10.2%左右。北美地区天然气发电（31%）在总发电量占比超过燃煤发电（26%），水电和其他可再生能源占25%，核电则占25%。北欧、西欧和南欧地区核能发电量占总发电量的1/4。东欧地区核电在总发电量占比较高，为21%，但

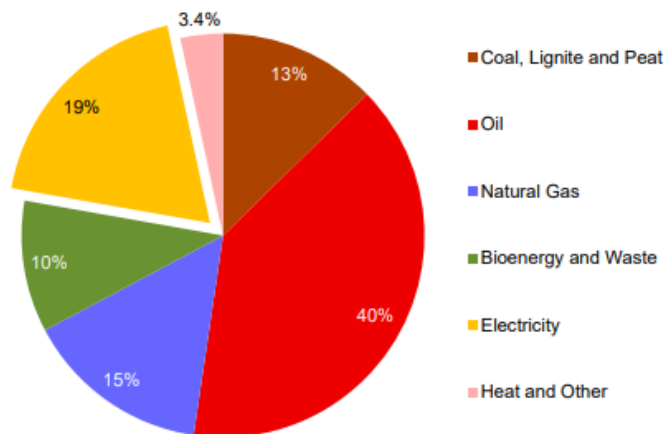


图1 2018 年全球终端能源消费情况

¹Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/19-00521_web.pdf

化石能源发电占比仍超过 60%。中、东亚地区的发电量主要由煤电（60%）贡献，其次是水电（15%）和天然气（10%），核电仅占约 5%。

二、2018 年全球核电开发情况

截至 2018 年底，全球正在运行的核反应堆总计有 450 座，总净装机容量为 396 吉瓦。此外还有 55 台机组正在建设中，装机总量为 57 吉瓦。2018 年有总量 10.36 吉瓦的 9 台新机组接入电网，同时有 7 台机组退役（总装机容量 5.42 吉瓦），另外有 5 台新机组开工建设，将增加 6.34 吉瓦的发电容量。2018 年，在运核电站发电量增长约 2.4% 达到了 2563 太瓦时，约占总发电量的 10%。

三、能源及电力发展趋势预测

到 2030 年，预计全球能源消费总量将增长 16%，到 2050 年将增长 38% 至 585.1 亿焦，年均增速约为 1%。2030 年前，总用电量将以每年约 2.2% 的速度增长，其后年均增速约为 2%。到 2030 年，电力在终端能源消费总量占比将从 2018 年的 18.8% 增加到 21%，到 2050 年则将增加到 26%。由于能效提高和经济结构变化，到 2050 年北美地区终端能源消费将比 2018 年（74 亿焦）下降约 6%，用电量将以每年 0.5% 的速度缓慢增长，因此到 2050 年电力在终端能源消费中占比将逐渐增加到 26%；北欧、西欧和南欧地区的终端能源消费将比 2018 年的 45 亿焦下降约 15%，电力在终端能源消费占比则将从 2018 年的 21.9% 增加至 30.5%；东欧地区终端能源消费将以年均 0.4% 的速度增长至 34.5 亿焦，电力消费增速较快，到 2050 年将比 2018 年增长 80% 至 8.1 亿焦，在终端能源消费中占比将从 14.4% 增至 23.5%；中、东亚地区终端能源消费将显著增加 23%，用电量则将近乎翻番，从 2018 年的 28.9 亿焦增至 2050 年的 55.2 亿焦，其在终端能源消费占比将从 23.1% 增至 35.1%。

四、核电装机容量及预测

全球发电装机总量将从 2018 年的 7188 吉瓦增加到 2030 年的 9782 吉瓦，到 2050 年则将增至 13633 吉瓦。现有一半以上的核反应堆运行时间已超过 30 年，按计划将在未来几年内淘汰。在保守情景下，到 2030 年将淘汰约 117 吉瓦的核电机组，另外新增 85 吉瓦的核电机组；2030-2050 年，将再淘汰 173 吉瓦的核电机组，同时新增 179 吉瓦的机组。因此 2040 年前全球核电装机容量将逐年减少，然后到 2050 年回升至 371 吉瓦，约占全球发电装机总量的 3%。在乐观情景下，假设计划淘汰的几个核电反应堆的运行时间延长，到 2030 年将仅淘汰 49 吉瓦的核电机组，新增 148 吉瓦的核电机组；2030-2050 年将再淘汰 137 吉瓦的核电容量，并新增约 356 吉瓦的核电机组。因此，预计到 2030 年全球核电装机总量将比 2018 年增加 25% 达到 496 吉瓦，到 2050 年则将增加 80% 至 715 吉瓦，约占全球发电装机总量的 5%。

在保守情景下，北美地区到 2050 年将淘汰约 77 吉瓦的核电机组，而新增核电机组只有 4 吉瓦，核电装机容量将从 2018 年的 113 吉瓦大幅下降至 2050 年的 40 吉

瓦，在电力总装机的占比将从 8.2%降至 3%；北欧、西欧和南欧地区已宣布将逐步淘汰核电，其核电装机将从 2018 年的 111 吉瓦降至 2050 年的 42 吉瓦，在电力装机中占比将从 11.2%降至 3.2%；东欧地区核电装机将缓慢增长 7.8%至 55 吉瓦，在电力装机中占比将从 11.2%降至 9%；假设日本福岛核电站将不会重新启用，加上到 2050 年将淘汰 61 吉瓦的核电机组，中、东亚地区核电装机容量将从 2018 年的 106 吉瓦增至 2050 年的 149 吉瓦，增速将低于电力装机容量增速，因此核电装机占比将从 2018 年的 4.2%降至 2030 年的 3%后保持平稳。

在乐观情景下，大多数核电设备运行寿命都将延长，北美地区核电装机容量将基本保持稳定，但到 2050 年这些核电站仍然接近退役的状态；北欧、西欧和南欧地区 2050 年核电装机将降至 67 吉瓦，其在电力装机中占比则降至 5.2%；东欧地区核电装机增速较快，将增加 55%至 79 吉瓦；假设福岛事故核电机组恢复运行，到 2050 年将仅淘汰 33GW 的核电机组，而新建机组则将达到 231 吉瓦，因此中、东亚地区核电装机将大幅提升 187%至 304 吉瓦，其在发电装机总量中占比也将增至 6.1%。

五、核能发电量预测

到 2050 年，世界核能发电量将增加。在保守情景下，尽管核电装机容量持续下降到 2040 年然后回升，但到 2030 年核能发电量将增长约 11%，到 2050 年则将增长约 16%，核电在全球总发电量中占比将从 2018 年的约 10.2%下降到 2030 年的 8.5%，到 2050 年则将下降到约 6.1%。但在乐观情景下，2030 年世界核能发电量将比 2018 年水平（2563 太瓦时）提高 50%，并在其后 20 年进一步提高 50%。到 2050 年，预计核能发电量将比当前提高 2.2 倍。到 2030 年核电在全球总发电量中占比将增加到 11.5%，到 2050 年则将增加到 11.7%。

在保守情景下，北美地区核能发电量将显著下降，从 2018 年的 902 太瓦时降至 2050 年的 324 太瓦时，其在发电总量占比将从 18.5%降至 6%左右；北欧、西欧和南欧地区核能发电量则将从 2018 年的 729 太瓦时降至 2050 年的 335 太瓦时；东欧地区核能发电量将从 2018 年的 354 太瓦时适度增至 2050 年的 442 太瓦时；中、东亚地区核能发电量将增长 1.5 倍至 1202 太瓦时，占其总发电量的 7%左右。

在乐观情景下，北美地区核能发电量将降至 2030 年的 868 太瓦时后上升至 2050 年的 909 太瓦时，其在发电总量占比则将持续下降至约 16%；北欧、西欧和南欧地区到 2030 年核能发电量将增加约 1.5%至 740 太瓦时，然后到 2050 年下降 27%至 538 太瓦时；东欧地区核能发电量将增长 79%至 636 太瓦时，其在总发电量中占比则将先升后降至 22.2%，接近 2018 年水平（21.6%）；中、东亚地区核能发电量将增加超过 4 倍至 2453 太瓦时，其在总发电量占比也将从 5.5%飙升至 14.6%。

（李权 岳芳）

日本发布《氢能和燃料电池技术开发战略》

9月18日，日本政府出台了《氢能与燃料电池技术开发战略》²，确定了燃料电池、氢能供应链、电解水产氢3大技术领域10个重点研发项目的优先研发事项。从2017年12月，日本制定《氢能基本战略》从战略层面设定了氢能的中长期发展目标；到2019年3月，日本更新《氢能与燃料电池战略路线图》提出到2030年的技术性能、成本目标；再到此次出台的技术开发战略，日本从战略到战术再到具体项目执行层面稳步推进氢能和燃料电池的技术发展与应用。技术开发战略具体内容如下：

一、燃料电池技术领域

1、车用燃料电池

开发低铂含量催化剂，非铂催化剂；高质子导电性、低气体渗透性和高耐久性的电解质膜开发；开发低电阻率、高孔隙率的气体扩散层，提高气体扩散性；低成本、高耐久性隔膜开发；开发能够在低温环境中保持性能的催化剂、载体、电解质膜等；开发能够在极端环境下运行的燃料电池及其组件。

2、固定式燃料电池

开发发电效率超过65%的燃料电池堆和系统；提高电池堆的耐久时间（13万小时以上）和缩短启动时间；提高电池系统燃料的利用率；开发适应多样化燃料（如沼气）的电池堆；燃料电池构成部件连续制造工艺的技术开发；燃料电池能源管理系统的开发；燃料电池系统加速老化试验和模型的建立。

3、辅助设备（如储氢罐）

减少移动式氢气存储罐中碳纤维的使用数量，提高容器制造工艺效率；与燃料电池系统有关的辅助设备的系统优化和低成本开发技术；除汽车以外的燃料电池应用技术开发。

二、氢能供应链技术领域

1、大规模制氢

提升利用褐煤气化产氢效率，以降低成本；水电解产氢装置的放大技术。

2、氢气存储运输技术

提高氢液化的效率；低温氢气压缩机的开发；用于氢能发电的氢冷升压泵的开发；装载臂的大型化、低成本技术开发；开发与氢气海上输送及陆地存储适应的绝热系统；在极端低温情况下的材料开发及评价技术；提高氢化/脱氢催化剂性能并降低甲苯含量；利用废热实现低成本、低碳化的制氢工艺。

3、氢能发电

开发与环境性（低氮氧化物）和氢燃烧特性相对应的、实现高效率发电的燃烧

2 水素・燃料電池技術開発戦略. <https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190918002/20190918002.html>

器；利用来自发电设施的废热，提高从诸如氨之类的氢载体进行脱氢反应的效率并降低成本。

4、加氢站

通过远程监控对加氢站运行进行无人化管理；获取通用金属材料的储氢特性数据；开发延长蓄压器寿命和新的检查方法；进一步提高软管和密封材料的耐用性；开发新的填充协议（缓和氢供给温度等）；基于通用数据的分析结果，将加氢站各设备的规格和控制方法标准化；高效率、低成本压缩机研究；液态氢气压缩泵的开发；容量大且重量轻的容器开发；容量大、耐久度强的储氢材料开发和生产技术的确立。

三、电解水产氢技术领域

1、电解水产氢技术

（1）质子交换膜电解水装置。提高电流密度（ A/cm^2 ）；降低能源消耗量（ kWh/Nm^3 ）；降低设备成本（日元/kW）；降低维护成本（日元/（ Nm^3/h ）/年）；降低劣化率（%/1000 小时）；降低催化剂的金属使用量（ mg/W ）；提高负荷变动时的电极耐久性（固体氧化物电解单元）。

（2）碱性固体阴离子交换膜电解水装置。阐明电解质材料和催化剂材料劣化机理并提高耐久性；提高电池堆效率和耐久性。

（3）固体氧化物燃料电池。提高单元电池堆栈的耐久性；低成本电池堆栈开发技术。

（4）通用的水电解技术。水电解反应分析及性能评价等基础技术的开发；包括水电解装置在内的系统优化；提高甲烷化装置的效率，降低成本和提高耐用性。

2、产业应用

对无二氧化碳排放的氢气燃料作为替代能源的经济合理性开展探讨；探索炼钢过程中氢利用潜力；挖掘在现有管道中注入和利用氢气的潜力。

3、新型光解水产氢技术开发

高效率的水电解；人工光合作用、用于提升氢气纯化精度的高性能氢气分离渗透膜研发；创新的高效率氢液化机开发；长寿命液氢存储材料开发；低成本高效的创新能源载体开发；小型、高效率、高可靠性、低成本燃料电池的革新技术开发；利用氢和二氧化碳合成化学品方法开发。

（陈梦石 郭楷模）

IEA：全球天然气市场继续强劲增长 供应愈加灵活多样

9月25日，国际能源署（IEA）发布了《2019年全球天然气安全评估报告》³，对全球天然气需求及国际市场发展进行了总结，并对天然气主要进口市场进行了具体分析。报告指出，全球天然气需求在丰富多样的供应来源支持下强劲增长，液化天然气（LNG）仍是国际贸易发展的关键推动力，连续三年实现了两位数增长。LNG现货交易、自由目的地供货合同等份额的增加表明LNG市场更加灵活多样，这也提升了亚洲进口市场的供应安全性。然而，天然气产量下降和能源系统转型将对西北欧地区的天然气安全带来极大的挑战。具体内容如下：

一、全球天然气市场继续保持强劲增长，并向更加灵活方向发展

1、LNG成为推动全球天然气市场强劲增长的主要来源。2018年全球天然气消耗量增长了4.6%，是自2010年以来的最高增速。LNG需求增速更快，交易量连续三年保持两位数增长。2018年有交付能力超过720亿立方米/年的天然气液化设施投产，使得LNG交易量增长了10%达到4200亿立方米/年。

2、买家需求促使LNG天然气市场供应方式更为灵活。LNG买家要求以更灵活的条件购买更多天然气，美国LNG出口商愿意以自由目的地方式供应LNG，自由目的地供货合同在LNG交付量的占比从2015年开始增长，到2018年已经增至40%。投资组合参与者逐渐成为LNG市场的主要买家，参与了2018年所有做出最终投资决策的LNG项目，占合同交易量的45%。这也使得2018年全球LNG交易量达到了1230亿立方米/年，是近5年最高水平。股权提升模式在LNG项目融资中越来越受欢迎，这种模式使承购商/合作伙伴可以按照股权比例获得LNG量，确保项目的经济可行以及LNG长期协议量，这一模式促使一些大型LNG项目达成了最终投资决策。

3、近期LNG合同向大型、长期、灵活方向发展。近期LNG合同以长期合同为主导，其在2018和2019年的交易量中分别占比74%和92%。大型合同（超过40亿立方米/年）和中型合同（20-40亿立方米/年）显著增加，分别占2018年至今合同总量的56%和82%。亚洲LNG需求增长主要来自新兴买家，其对LNG的依赖性比传统买家低，且对价格较为敏感，因此交易灵活性仍受到高度重视，2018年已签订和达成最终投资决策的LNG合同中，自由目的地合同占到58%，而2019年（迄今）的占比则达到89%，这些合同还提供了调整交付数量和时间的灵活选项。

³ Global Gas Security Review 2019. https://webstore.iea.org/download/direct/2832?fileName=Global_Gas_Security_Review_2019.pdf



图 1 2014-2019 年签订的 LNG 合同（根据目的地灵活性、出口地区和进口地区划分）

二、LNG 交易的创新促使亚洲市场供应安全性进一步增加，传统买家可能成为提高灵活性的更大来源

亚洲 LNG 新进口国的需求正持续增长，而传统买家需求将停滞不前。大多数传统买家通过购销协议进口 LNG。实际上，购销协议在交付数量、目的地、交付计划和运输方面提供了一定程度的灵活性。长期合同由于实行多年管理，能够提供更大灵活性，随着交付数量和时间的增加以多样化的方式发展，买家可以选择全额交付或是将不需要的货物调整到其他市场并转售。此外，还可通过区域合作以更好地发挥购销协议的灵活性，建立合资企业、与其他市场进行联合采购等新型采购策略也可提高灵活性。通过运用这些灵活性方法，亚洲传统买家可以成为 LNG 二级市场的销售商，为新兴买家提供区域内的灵活供应。目前亚洲传统 LNG 买家签约的自由目的地合同为 150 亿立方米/年，如果全部供应给亚洲新兴买家，则将满足其需求的 15%。日本 LNG 进口商正投资其基础设施以增强重装能力，服务于不断增长的亚洲新兴市场。

三、西北欧地区能源系统转型要求进一步提高下游天然气的灵活性

由于西北欧地区当地天然气产量进入快速下降阶段，未来 5 年该地区的天然气进口需求将增加 1/5，即近 400 亿立方米/年，而天然气消费量则基本持平。生产低热量天然气的荷兰格罗宁根气田按计划将提前逐步停产，因此需扩大荷兰的转换设施，以将进口的高热量天然气转换为低热量天然气。西北欧地区的电力系统将发生重大变化，政府宣布未来 5-6 年内将淘汰 45 吉瓦的核电和煤电，波动性可再生能源在电力系统中占比将增加。因此，天然气发电将在抑制电力系统波动中发挥越来越重要的作用，尤其是在寒冷季节满足高能源需求造成的波动。因此，天然气供应将面临更大挑战。在这种情况下，需要采取区域性方法，如通过增加天然气进口能力、改善中游的互连互通和统一储气监管，以提高西北欧地区天然气基础设施的灵活性。加强西北欧天然气系统的灵活性也将巩固该地区在全球天然气市场中的地位，因为内部灵活性可以对全球供需动态做出及时且经济高效的反应。以往的供需冲击表明了欧洲灵活的能源系统对全球天然气市场的重要性，2011 年的日本福岛核电站因核

泄漏事故停产，欧洲电力系统的燃料转换能力使更多 LNG 得以进入日本市场。从中期来看，亚洲电力部门将通过自由目的地的 LNG 为全球能源市场提供灵活性，而欧洲则可能是潜在的 LNG 出口市场。这将推动亚洲和欧洲的市场参与者和监管机构加强区域合作，形成更为灵活的全球天然气市场。

（张凯宏 岳芳）

全球市场洞察：2025 年能源区块链市场将达 30 亿美元

根据全球市场洞察咨询公司（Global Market Insights）的最新研究⁴，到 2025 年能源领域的区块链市场规模将从 2018 年的 2.2 亿美元增至 30 亿美元，预计 2019-2025 年期间能源区块链市场规模的复合年均增长率将超过 50%。该研究报告指出，随着联网和数字化的增加，对能源网络安全的日益关注将推动能源市场中区块链的增长。区块链技术可提高工艺效率、灵活性并缩短生产周期，引起了电力行业巨头的关注，刺激了对区块链技术的需求。此外，电动汽车的进一步普及、智能家电数量的迅猛增长以及电网中分布式发电份额的增加也促进了区块链在电力行业的应用。报告主要内容如下：

1、区块链在能源领域的应用前景

随着电力系统的清洁转型，波动性可再生能源（如风能、太阳能和潮汐能）发电份额的增长将大大促进点对点电力交易的发展，预计到 2025 年点对点交易量增长将超过 8 亿美元。交易成本降低和网络透明度增加，以及对虚拟电厂或拥有大型储能和发电的分布式能源系统管理能力的提升，将促进电力行业的发展。电力行业将越来越数字化、分散化、民主化和自由化，这将进一步刺激对区块链技术的需求。电网的电力交易将更加方便、廉价和快速，包括现有的电力批发市场。电力需求增加、监管向获取廉价电力转变以及智能电网技术的应用将是促进这一商业格局变化的主要因素。家庭和企业将通过小型交易参与到电力市场中，扩大了市场参与者的数量，这将促进区块链在电力部门的渗透。

由于减少了中介机构参与、降低间接成本和缩短了现金周期，石油和天然气区块链市场将显著增长。行业巨头将更加重视采用技术来简化石油行业交易、提高交易安全性和优化交易效率。如壳牌公司和英国石油公司宣布启动区块链石油交易平台，以实现石油相关服务的自动化和数字化。此外，通过提高计算运费、生成发票和装运路线的准确性也可推动行业的发展。

2、能源区块链市场的区域发展

⁴ Blockchain in Energy Market Size By Category (Private, Public), By Application (Power {Grid Transactions, Peer-To-Peer, Energy Financing, Sustainability Attribution, Electric Vehicle Charging, Others}, Oil & Gas {Supply Chain, Operations, Trading, Security}), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2019 – 2025. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/blockchain-in-energy-market>

到 2025 年，预计美国能源区块链市场规模将增长超过 4 亿美元。区块链可改变能源工业和微电网的基本结构，以安全的方式促进点对点能源交易增长。例如，美国在 2016 年推出了布鲁克林微电网试点项目，其目的是通过区块链技术使居民间可相互买卖电力。

欧洲能源区块链市场规模也将快速增长。欧盟正采取各种措施以加速区块链技术在能源领域的应用。2018 年欧盟委员会成立了欧盟区块链观测站和论坛（EU Blockchain Observatory and Forum），以鼓励区块链技术的跨地区合作。目前欧盟有 308 个智能电网项目，投资总额达到了 24.3 亿美元。此外，能源初创公司的投资和融资活动正不断增加。许多公用事业公司正推出绿色购买计划，使用户能够从特定的可再生能源项目中购买可再生能源证书。政府对可再生能源发电的激励措施及有利的监管政策也会促进区块链产品的应用。



图 1 区块链在能源领域的应用前景

（岳芳）

项目计划

欧洲投资银行向意大利提供 2.5 亿欧元贷款支持聚变能研究

9 月 19 日，在欧洲投资计划支持下，欧洲投资银行（EIB）宣布向意大利提供 2.5 亿欧元贷款支持核聚变研究⁵，旨在到 2050 年实现欧洲核聚变能商业化。根据欧洲投资计划，欧盟将支持意大利国家新技术、能源与可持续经济发展署（ENEA）建造一个开创性的核聚变实验装置——偏滤器托卡马克试验设施（DTT），该装置将

⁵ Juncker Plan in Italy: European Investment Bank lends €250 million to Italian agency for research into clean fusion energy. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_5649

设在拉齐奥大区罗马附近的弗拉斯卡蒂，主要用于解决核聚变相关的关键科学和技术问题，特别是热量控制问题。ITER 核聚变反应堆的偏滤器目前正在法国卡达拉什（Cadarache）中心建造，但其钨瓦部件并不适用于核聚变示范电站。DTT 将研究适合未来核聚变发电站反应堆的分流器，该设备用超导磁体约束等离子体，在等离子体的边缘用不同形状的偏滤器将热流扩散到更大的区域，还可以测试例如液态锂之类的偏滤器耐热材料。

该项目的总投入为 5 亿欧元，EIB 将为其提供 2.5 亿欧元贷款，欧洲核聚变研究联盟（EUROfusion）将在地平线 2020 计划框架下提供 6000 万欧元，意大利教育、大学与研究部（MIUR）和意大利经济发展部（MISE）各出资 4000 万欧元，拉齐奥大区也将投入 2500 万欧元资金。这将对意大利产生积极影响，约 1500 名科学家和技术人员将参与该项目（500 人直接参与），将使意大利的 GDP 增长 20 亿欧元，并将培养一批科研人员，意大利的工业界也将从中受益。

（杨晓亮 岳芳）

英国法拉第研究院资助 5500 万英镑研发先进储能技术

9 月 4 日，英国法拉第研究院宣布将提供 5500 万英镑的资助⁶，用于开展储能电池 4 个领域的 5 个项目，预计将持续四年，新项目与法拉第研究院的既有项目进行了整合，将加快能源储存技术的突破，除了改进当前一代锂离子电池，还将进行新材料的开发与优化，以解决工业界面临的电池挑战，并利用英国的世界级研究能力推进科学知识发现，从而实现新电池技术及工艺的商业化。

(1) 下一代电极制造。牛津大学将联合其他五所大学和六个行业合作伙伴组成联盟，变革锂离子电池电极的制造方式。通过了解材料如何组装成电极，以及开发新的制造工具，该联盟将开发新一代智能、高性能电极，使电动汽车拥有更长的续航里程和更耐用的电池。

(2) 下一代锂离子正极材料。锂离子电池的最大性能提升可能来自正极化学的变化。法拉第研究院正在资助两个联盟项目。一个项目由谢菲尔德大学领衔，将通过协调的方法进行正极化学设计、开发及发现（包括定制的保护涂层和设计界面），使得正极能够容纳更多的电荷，更适应长时间循环并促进离子迁移（提高电池耐用性和续航里程，以及电动汽车提速），同时降低对钴的依赖性。另一个项目由巴斯大学领衔，将重点关注对富镍正极（钴含量较低，甚至无钴）和富锂正极等新型正极材料基本机理的理解，助力开发具有更强特性的新型正极材料。

(3) 下一代钠离子电池。该项目由圣安德鲁斯大学领衔，通过多学科方法，将

⁶ The Faraday Institution Announces a Further £55 Million for Energy Storage Research.
<https://faraday.ac.uk/sept-2019-project-announcement/>

基础化学与扩大规模和电池制造相结合，从而加速钠离子电池技术的开发。目标是使得具有高性能、低成本和长循环寿命的安全钠离子电池实现商业化。钠离子电池的成本相对较低，使其成为具有吸引力的下一代技术，特别是对于固定式储能应用和低成本车辆而言。

(4) 超越锂离子的替代电池化学。由伦敦大学学院领衔，将通过新的知识、材料和工程解决方案，实现锂硫技术的快速改进，这得益于其重点关注材料和电池两个层面的基础研究，以及改进的系统工程方法。如果锂硫的潜力得以实现，将使得汽车和其他应用的电池超越锂离子化学的固有限制。

(万勇)

DOE 资助 5600 万美元支持先进煤炭技术研发

9月20日，DOE宣布将投入5600万美元支持32个先进煤炭研发项目⁷，旨在通过新技术的研发和示范推进洁净煤技术的发展。本次资助着重关注六个主题：煤制高价值产品；先进蒸汽轮机；先进材料；煤基资源回收稀土元素和关键材料；碳封存；交叉领域研究。具体研究内容如下：

1、煤制高价值产品（1000 万美元）

(1) 改进煤炭原料用于发电和炼钢。开发和测试煤炭提质/热解技术，以生产低排放、高热值燃料用于发电和炼钢，并从低阶煤中回收高价值煤产品的前驱体。

(2) 煤制高价值固体产品。将烟煤和次烟煤转化为高价值聚氨酯泡沫产品和低硫燃料油副产品的新工艺；将低成本煤（如褐煤）转化为高性能、高价值的锂离子电池石墨的新方法；煤制高价值碳纳米材料和吸附剂的经济高效技术；煤制碳纤维的新工艺；利用煤制造高价值煤塑复合材料以开发煤塑复合地板；煤制碳纤维生产高价值复合材料的连续加工技术；利用直接液化技术使用煤生产碳纤维前驱体。

(3) 利用微波或等离子体技术将煤转化为高性能碳材料。使用低温微波等离子体煤热解技术将煤转化为工业电极用碳和石墨材料，以及3D打印复合材料；将煤低成本转化为优质石墨烯的技术。

2、燃煤电厂先进蒸汽轮机（1190 万美元）

开发用于燃煤电厂蒸汽轮机的增材制造解决方案，以降低常规维护、维修和大修成本，提高蒸汽轮机运行效率；利用增材制造加快蒸汽轮机的设计和制造过程。

3、高效、灵活、可靠的燃煤电厂先进材料（500 万美元）

开发用于先进超超临界锅炉的耐腐蚀和耐侵蚀涂层；大面积电弧增材制造用于低成本生产先进超超临界锅炉组件；基于增材制造开发和示范用于先进超超临界发电厂的异种金属焊接的复合过渡接头；开发先进发电循环组件的低成本热等静压制

⁷ U.S. Department of Energy Invests \$56 Million in Coal Technology Projects.
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-invests-56-million-coal-technology-projects>

造工艺和焊接工艺；将新型镍基高温合金 Haynes 282 焊接到用于蒸汽轮机转子的几种常用钢材上，从而为先进超超临界蒸汽轮机提供模块化转子。

4、煤基材料回收稀土元素和关键材料（1500 万美元）

利用创新低成本工艺和电路利用煤基原料大规模生产稀土氧化物和关键材料（钴和锰）的示范；从褐煤及其相关原料中回收稀土的中试示范；开发能够高效从酸性矿山废水中回收稀土元素和关键材料的连续工艺，并进行中试示范。

5、CO₂ 地下封存的传感器开发（530 万美元）

开发、制造和示范基于无线微传感器的集成井下传感系统，以监测 CO₂ 地下封存区的 CO₂ 羽流流动。开发和验证一种新型传感器系统，将集成无线自主微传感器、传感器封装、定位技术及智能完井技术，以提高监测地下流体运动的能力。

6、交叉领域研究（930 万美元）

(1) 嵌入式传感器的先进制造。通过增材制造方法，开发用于监测蒸汽轮机运行的嵌入式传感器，以及开发用于监测燃煤锅炉运行的内置传感器的陶瓷锚固件。

(2) 燃煤电厂冷却技术。开发并示范全天候亚露点冷却塔原型，以提高火电厂效率和运行灵活性；构建、优化和测试冷却塔羽流收集系统；通过吸湿冷却系统回收发电厂废水。

(3) 燃煤电厂的建模及预测。对当前和下一代锅炉组件中使用的镍基高温合金材料的行为和老化进行建模和预测；通过模型研究现有火电厂循环运行对其关键组件的影响，提出经济高效的运行解决方案以延长电厂寿命；开发基于组件老化的建模工具包以优化电厂运行；电厂蒸汽循环关键组件的寿命建模研究。

（岳芳）

DOE 资助 3000 万美元改善能源输送系统网络安全

8 月 27 日，美国能源部（DOE）宣布在“能源输送系统网络安全”计划框架下投入 3000 万美元⁸，支持 10 个能源输送系统网络安全研发项目，旨在提高美国能源输送系统的网络安全性、可靠性和弹性。具体研究内容见表 1。

表 1 能源输送系统网络安全研发项目具体内容

主题	具体内容	资助金额/ 万美元
储能系统的可扩展量子网络安全	开发量子密钥分发以检测网络入侵	300
储能安全微服务	隔离电源系统软件以减少网络攻击面，在受到恶意软件攻击时可通过识别和替换模块化流程避免运行中断	300

⁸ Department of Energy Announces Awardees of \$30 Million Research Call to Enhance Cybersecurity for Energy Delivery Systems.
<https://www.energy.gov/ceser/articles/department-energy-announces-awardees-30-million-research-call-enhance-cybersecurity>

可靠性和安全性验证与确认	开发验证与确认一站式服务框架用于风险指引测试，以最大程度减少网络漏洞，降低风险	270
配电储能监控参数调整	使储能电池系统具备自动防御攻击能力	300
地理空间可视化实现整体响应和态势感知	提高识别网络威胁的能力，以快速做出决策和行动	300
运营技术网络安全	开发运营技术网络安全工具以在入侵事件发生时确定下一个逻辑威胁	370
网络异常态势感知	通过机器学习快速、近实时识别网络异常行为和检测对电网的攻击	300
大数据平台的分析集成框架	集成运营技术数据源、模型、分析和可视化以快速缓解网络攻击	203
网络数据匿名化以进行网络攻击检测	探索关键能源基础设施数据的分析技术，同时保护数据的匿名性	300
网络物理安全保障框架	开发验证与确认功能，以针对网络安全要求测试已部署的系统	299

(张凯宏 岳芳)

前沿与装备

基于全固态陶瓷电解质的高能量密度锂电池体系

锂离子电池是目前技术最为成熟的电池技术，被广泛应用于社会生产生活的方方面面。但由于其能量密度不够高（目前低于 300 Wh/kg），难以满足人类社会生活不断发展的需求，因此开发出更高性能的电池技术成为了科学界的共识。斯坦福大学 Yi Cui 教授课题组设计开发了一种新型的全固态陶瓷电解质，在此基础上制备出了高性能长寿命锂-硫（Li-S）和锂-硒（Li-Se）电池体系，将电池能量密度提升到了 500 Wh/kg 水平，在电动汽车、规模化储能等领域展现出广阔应用前景。位于同一主族的 S、Se 元素具备极高的储锂容量特性，且能量成本较低，被认为是替代商业化的金属氧化物正极的极佳候选材料；但液态电解质使 Li-S、Li-Se 电池存在多硫聚物穿梭、有机电解质易燃易爆等问题。为此，研究人员设计制备了高致密性的石榴石相结构的 $\text{Li}_{6.4}\text{La}_3\text{Zr}_{1.4}\text{Ta}_{0.6}\text{O}_{12}$ （LLZTO）陶瓷管固态电解质。利用电化学阻抗谱测试发现，LLZTO 在室温下的电导率不高，为 0.7 mS/cm，而当温度升高时电导率增加，在 240℃（此温度高于 Li、S 和 Se 的熔融温度）时电导率高达 135 mS/cm，300℃时离子电导率进一步增加至 190 mS/cm，具备了高温高导电特性。接着利用冷等静压工艺将 S 或者 Se 纳米颗粒与炭黑颗粒压制制备成复合正极，促进 S 或者 Se 纳米颗粒充分与导电炭黑接触，提升导电性，且在 240℃下仍然保持结构完整性。随后以 Li 金属为负极填充到圆柱管状固态电解质 LLZTO 里，放入不锈钢圆管再在 LLZTO 和不锈钢圆管之间填充 S 或者 Se 正极材料形成完整的圆柱状电池器件。在 240℃温度下对组装好的 Li-S、Li-Se 电池进行电化学性能测试，以 0.5C 的倍率循环

50 次，电池质量比容量达 1450 mAh/g，库伦效率高达 99.99%，主要原因是 240°C 温度下，正负极均为液体状态，从而促进了离子的快速传输和低的电极-电解质界面阻抗。而当增大放电电流密度到 3C 时，电池依旧获得了 750 mAh/g 的质量比容量，表现出良好的倍率性能。研究人员进一步利用 X 射线、电化学阻抗谱等表征手段探究电池循环过程，发现在放电过程中，随着 Li₂S 的形成，电池的电阻变小，这归因于 Li₂S 与 S 相比具有更高的离子电导率。充电时，随着 Li₂S 分解为硫，电池的电阻增大。充电结束时，电池电阻几乎与初始的电阻相同。这意味着电池电阻变化是可逆的。由于正极活性物质实际容量仍小于理论容量，放电结束时界面上仍存在一些熔融的硫或硒，这有助于改善 Li₂S 与 LLZTO 之间的界面接触。同样的情况也出现在了 Li-Se 电池中，在 1C 倍率循环 300 次获得了 650 mAh/g 的质量比容量。在整个循环过程中，容量衰减非常小（单次循环约 0.004%），库伦效率高达 99.99%。正如上文所述，温度升高会提升 LLZTO 电导性，因此将温度进一步提升到 300°C 发现，Li-Se 电池在 4C 倍率下质量比容量增至 640 mAh/g；即使在 10C 的高倍率下，质量比容量仍高达 400 mAh/g，且 1000 次循环后，质量比容量仍为约 300 mAh/g，展现出优异的循环稳定性。最后考虑整个电池的各部分组件，计算得出当直径超过 6 cm 时，Li-S 电池的质量能量密度可达 1850 Wh/kg，Li-Se 电池可达 920 Wh/kg，远远高于目前的锂离子电池。该项研究设计制备出了一种耐高温高电导的全固态陶瓷电解质，在此基础上开发出了高性能的圆柱形锂硫/锂硒电池体系，通过优化参数，两种电池均可以获得 1000 Wh/kg 水平的放电比容量，为设计开发高比容量电池研发提供了新思路。相关研究成果发表在《Joule》⁹。

（周斌 郭楷模）

绿色双量子点共敏化工艺创造量子点太阳能电池效率纪录

量子点太阳能电池具有制备成本低廉、带隙可调、理论转换效率高等诸多优点，在太阳能转换领域有着巨大的应用潜力。然而目前其光电转换效率仍远远低于理论值，主要原因是传统的单个种类量子点敏化剂很难同时具备高捕光效率、快速电子注入效率和高电荷收集效率，且传统量子点敏化剂含有毒性的铅元素。因此开发绿色高性能量子点敏化剂成为了该电池技术的热点前沿。香港城市大学 Alex K.-Y. Jen 教授课题组牵头的联合研究团队采用共敏化策略，设计制备出一种无毒性元素的绿色双量子点共敏化太阳能电池，从而实现捕光效率、电子注入效率和收集效率的均衡提升，进而获得了近 13% 的光电转换效率，通过了权威机构认证，刷新了量子点太阳能电池效率记录（此前报道的最高效率是 12.65%，无机构认证且含有毒性的镉元素）。研究人员首先配置了不含毒性元素的环保型锌铜铟锡（ZCISe）和锌铜铟硫（ZCIS）

⁹ Yang Jin, Kai Liu, Jialiang Lang, et al. High Energy Density Solid Electrolyte-based Liquid Li-S and Li-Se Batteries. *Joule*, 2019, DOI: 10.1016/j.joule.2019.09.003

量子点敏化剂溶液（其中 ZCISe 带隙宽度窄于 ZCIS，因此可以形成互补吸收），采用连续浸渍方法将 ZCISe、ZCIS 量子点吸附到光阳极二氧化钛（TiO₂）上，实现双量子点共敏化，通过控制敏化顺序和敏化时间获得最优的敏化效果。与此同时，采用同样工艺制备单一量子点 ZCISe 或 ZCIS 敏化 TiO₂ 光阳极用于对比研究。等离子体原子发射谱测试显示，双量子点共敏化使得量子点吸附量明显增加，多于单一量子点敏化吸附量，这有利于提升太阳光捕集效率和界面电荷复合。紫外可见光谱表征显示，共敏化光阳极在可见光区间的光吸收能力增强，有利于产生更多光生电子提升电池电流。随后分别以 ZCISe-ZCIS、ZCISe 和 ZCIS 敏化 TiO₂ 作为光阳极组装成完整的量子点太阳电池器件，研究共敏化对量子点太阳电池器件性能的影响。在一个标准模拟太阳光辐照下测试器件的电流-电压曲线，结果显示：ZCISe 和 ZCIS 单一量子点敏化太阳电池平均转换效率分别为 12.18% 和 11.83%；而采用 ZCISe-ZCIS 共敏化的电池器件平均转换效率达到了 13.18%，经过权威机构认证的效率依旧高达 12.98%，创造了量子点太阳电池效率新高。入射单色光子-电子转化效率（IPCE）表征揭露 ZCISe-ZCIS 共敏化电池器件的 IPCE 值最高，表明该器件的电子收集和注入效率提升了。此外，ZCISe-ZCIS 共敏化电池在 90% 湿度的空气环境中放置 120 小时后，仍然保持 90% 以上的初始效率，呈现优异的环境稳定性，有助于电池在真实环境的应用。该项研究采用共敏化策略，设计合成了无毒双量子点共敏化的绿色量子点太阳电池，在改善光吸收的同时增强了电子的收集和注入效率，减少了复合损失，从而提升了器件性能，获得了 12.98% 认证转换效率，刷新了量子点太阳电池的效率纪录，且具备极其优异的空气环境稳定性。相关研究成果发表在《Advanced Materials》¹⁰。

（郭楷模）

3D 打印自修复柔性可伸缩热电发电机

如果开发出能够将人体热量等低温段能量有效利用的能量收集转化器件（如热电转换），则有望解决可穿戴便携式设备等电子器件的持续供能问题。鉴于可穿戴设备的使用场景（设备通常用于无规则几何形状物体表面），因此需要开发出与穿戴设备匹配的、具备良好抗形变能力的高效柔性热电发电机。沙特阿拉伯阿卜杜拉国王科技大学 Derya Baran 教授课题组设计研发了一种热电三元复合材料，并通过 3D 打印技术制备了相应的热电发电机，具备了极好的自修复性和机械柔韧性，在受到外界应力作用后反复拉伸后仍可正常工作，甚至在切断后再修复仍可恢复 85% 以上的初始性能，展现出优良的自修复性和柔韧性。研究人员将聚(3,4-乙烯二氧噻吩)：

¹⁰ Zhenxiao Pan, Liang Yue, Huashang Rao, et al. Boosting the Performance of Environmentally Friendly Quantum Dot-Sensitized Solar Cells over 13% Efficiency by Dual Sensitizers with Cascade Energy Structure. *Advanced Materials*, 2019, DOI:10.1002/adma.201903696

聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT:PSS)和二甲基亚砜(DMSO)混合形成前驱体,随后利用液滴涂布制备了自支撑薄膜。对薄膜进行应力-应变测试,发现该复合薄膜仅能承受不超过8%(相比原始状态长度拉伸8%)的拉伸应力,机械形变超过该数值后薄膜就发生断裂且不可修复。为了改善薄膜的机械柔韧性,研究人员在上述前驱体中加入了修复剂曲拉通X-100(Triton X-100),重复上述应力-应变测试,结果显示薄膜抗拉伸能力提升了4倍。蠕变恢复分析结果显示,无Triton X-100的薄膜在剃须刀片切割时出现不可修复损伤,而含有Triton X-100薄膜在重复切割的情况下,也能够自动愈合,并恢复到初始电流水平(10^{-3}A),整个恢复过程响应时间约为1秒。进一步对薄膜抗形变极限进行探索,发现在35%的应变范围内,含有Triton X-100的复合膜在切割、重接和轻压等机械应力作用后电阻保持良好;且恢复后的复合膜仍保持了良好的力学拉伸性能。随后基于Triton X-100复合膜利用3D打印技术制备了完整的热电发电机(TEG),在32 K温度差环境下获得了4.3 mV电压,最大输出功率12.2 nW。接着对其进行物理损坏,探索3D打印的热电发电机在物理损伤后的自修复性能,发现经过重复切割自修复后器件依旧保持稳定功率输出,且始终保持初始值85%以上水平。为了验证器件在真实环境下(人体热量环境下)的工作性能,研究人员使用涂有乳胶手套的手指建立温度梯度并与热电发电机连接,测试结果发现在较低温度差(7 K)的情况器件就能够正常工作,可获得0.6 mV的稳定输出电压。此外,复合膜电阻随弯曲半径的变化显示当弯曲半径小至0.5 mm时,电阻变化可忽略不计,证明了其作为柔性可穿戴热电发电机的潜力。该项研究首先制备出了一种自修复的热电材料,具备了良好的抗形变特性,在拉伸和断裂条件下,热电性能基本保持不变。随后借助3D打印技术制造出具备自修复特性的柔性热电发电机,重复切割修复后仍能继续工作,且切割自修复后器件仍可保持初始输出功率的85%以上,并成功在人体体温环境下演示了工作性能,为开发匹配柔性可穿戴电子设备的自修复柔性电源器件开辟新路径。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》¹¹。

(郭楷模)

Pd@Au 核壳纳米合金催化剂实现 CO₂ 到 CO 高效催化还原

利用可再生能源驱动 CO₂ 电催化还原制备碳氢燃料或高价值化学品是一种极具发展前景的技术,但由于缺乏高活性和高选择性的催化剂,CO₂ 催化还原的转化率仍受到很大限制。合金化催化剂是一种超越纯金属的高效催化剂设计制备路径,吸引了广泛的研究关注。约翰霍普金斯大学 Chao Wang 教授牵头的国际联合研究团队设计制备了一种金核钯壳纳米合金催化剂(Pd@Au),通过对 Pd 活性位点的原

¹¹ Seyoung Kee, Md Azimul Haque, Daniel Corzo, et al, Self-Healing and Stretchable 3D-Printed Organic Thermoelectrics. *Advanced Functional Materials.*, 2019, 1905426. DOI:10.1002/adfm.201905426

子级精确调控，获得了优异的 CO₂ 催化还原活性，从而实现了 CO₂ 到 CO 的高效还原。CO₂ 还原电催化剂的催化活性依赖于 CO 的结合能，与反应中间体（如*COOH，*CHO 或*COH）紧密相关。而 Pd 金属能够牢固地与 CO 结合并可活化 CO₂，但易被 CO 中毒；而 Au 与 CO 的结合较弱，但具有很好的抗 CO 毒性。为此研究人员设想将 Pd 和 Au 整合，发挥两种金属的优势同时规避缺点，以实现在降低 CO₂ 活化的能垒同时增强 CO 抗中毒性。为此研究人员用氢气低温还原钯盐方法将 Pd 原子均匀分散在 Au 核上，通过对反应物剂量的控制，制备了一系列不同 Pd 含量的 Pd@Au 合金催化剂。高角环形暗场像（HAADF-STEM）表征显示，当 Pd 含量较低时（Pd 与 Au 原子量比为 2%，Pd₂@Au₉₈），可以观察到 Pd 原子均匀分散在 Au 核表面；但 Pd 含量进一步增加时 Pd 团簇出现并形成半连续层，最终形成完整的 Pd 壳包覆 Au 纳米颗粒，此时 Pd 含量达到了 20%。随后对不同的催化剂进行催化活性测试，结果显示 Pd@Au 合金催化剂的电流密度相比于单独的 Au 与 Pd 金属有明显的改善，其中 Pd₅@Au₉₅ 的性能最佳，与 Au 相比提高了 3 倍，与 Pd 相比提高了 21 倍；且其催化还原 CO₂ 过程中有少量甲酸产生，法拉第效率随着电位的变化而改变，与 CO₂ 的活化以及催化析氢反应（HER）的竞争相关。测试催化剂还原产生 CO 的法拉第效率显示，Pd₅@Au₉₅ 具有将 CO₂ 选择性还原为 CO 的最高活性，在 -0.5 V 时，法拉第效率和电流密度分别达到 80% 和 1.6 mA/cm²，相应的质量活性达到 178 A/g_{metal}，大大优于文献中报道的大多数 CO₂ 还原电催化剂。在连续运行 24 小时后，Pd₅@Au₉₅ 的 FE_{CO} 损失少于 15%，表现出优异的稳定性。密度泛函理论（DFT）计算表明合金催化剂对 CO₂ 电还原为 CO 的催化活性与 Pd 含量存在非线性关系，根本原因是*CO 和*COOH 在各种集合尺寸的 Pd 位点上的吸附能的变化。该项研究设计制备了 Pd@Au 核壳合金纳米颗粒催化剂，整合弱结合和强结合优点，同时通过反应剂量调控实现了对 Pd 金属的原子尺度调控，获得了优异的催化活性，实现了 CO₂ 到 CO 的高效还原。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》¹²。

（刘竞 郭楷模）

¹² Yuxuan Wang, Liang Cao, Nicole J. Libretto, et al. Ensemble Effect in Bimetallic Electrocatalysts for CO₂ Reduction. *Journal of the American Chemical Society*, 2019, DOI:10.1021/jacs.9b05766.

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 岳芳

电话：（027）87199180

电子邮件：energy@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

