

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：全球能源系统深刻变革 电气化水平持续提升
- 欧盟提出风能技术研发创新五大优先主题
- 欧盟评估本地区巴黎气候协议实施进展
- DOE 资助近亿美元支持九大领域变革性能源技术研发

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

IEA: 全球能源系统深刻变革 电气化水平持续提升2
欧盟提出风能技术研发创新五大优先主题领域6
欧盟评估巴黎气候协议实施进展8

项目计划

ARPA-E 资助近亿美元支持九大领域变革性能源技术研发11
DOE 资助 1800 万美元推进先进核能技术研发13

前沿与装备

分子光谱技术成功揭露钙钛矿电池空穴材料中复合物形成机理 ..14
一步法合成廉价高效苯胺衍生物空穴传输材料15
空心 $\text{Co}_9\text{S}_8@Zn\text{In}_2\text{S}_4$ 异质结构笼状催化剂实现高效稳定产氢16
二维官能化氮化硼纳米片添加剂有效抑制锂枝晶17

本期概要

国际能源署（IEA）发布《世界能源展望 2018》报告，采用情景分析法展望了至 2040 年全球能源发展趋势：随着可再生能源和电气化迅猛发展、石油市场动荡不定和天然气市场强势崛起，全球能源系统正发生重大转变。未来能源需求将主要来自于发展中国家，能源消费重心逐步向亚洲转移，到 2040 年亚洲将占全球天然气消费增量的一半，风电和太阳能光伏增量的 60%，石油消费增量的 80% 以上，煤炭和核电增量的 100% 以上（其他地区总体呈负增长）。天然气于 2030 年左右就将超越煤炭成为第二大燃料。到 2040 年，可再生能源发电量将比 2018 年增加 2 倍，届时可再生能源与煤炭在电力结构中的占比将互换，可再生能源电力在全球电力消费总量中的占比将增长约 25% 达到 41%。现有政策将无法实现“巴黎协定”的气候目标，IEA 建议可持续发展情景可以成为实现全球气候目标的可行方案。

欧洲风能技术创新平台（ETIPWind）发布《风能战略研究和创新议程 2018》报告，提出欧洲风能技术研发创新五个优先主题：（1）电网和并网集成，包括：开发能源系统的灵活性解决方案，制定电网扩张战略和运营规划，改善储能技术和发展混合能源系统；（2）风电系统运营和维护，包括：发展智能风电场，进行风电生命周期管理，开发数据分析、诊断技术和运维策略，以及优化风力涡轮机寿命；（3）下一代风电技术，包括：研究开发全新的风电技术，数据驱动的涡轮机设计优化，材料和结构优化，以及风电场高精度建模；（4）海上风电辅助设施，包括：开发更高效集成并网技术和动态模型，创新风电塔筒和基础结构，创新海上变电站和电缆；（5）浮动式海上风电技术。详见正文。

欧盟发布《欧盟和巴黎气候协议：评估卡托维兹缔约方大会的进展情况》年度报告，评述了欧盟履行“巴黎协议”实施进展和政策措施：2017 年欧盟碳排放小幅增加约 0.6%，尚未偏离实现欧盟 2020 年碳排放目标道路，但需全面实施 2018 年欧盟的新气候政策以实现到 2030 年温室气体排放减少 40% 的目标，欧盟成员国将据此制定新的能源和气候计划。除此以外，欧盟通过加强出台法规政策、修订碳排放交易体系监管框架、扩大气候融资、开展国际合作等措施致力于实现 2030 年目标。

美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布第四轮开放式招标计划（OPEN 2018），即资助 9800 万美元支持九大领域变革性能源技术研发，包括：集中式发电、分布式发电、电气效率、电网、电网储能、制造效率、交通用能转换、交通燃料以及车辆技术，旨在整合美国顶尖能源创新者（科学家、工程师等）研究力量，促进颠覆性能源技术的创新，完善能源系统，保障美国能源安全和全球能源主导地位。

美国能源部（DOE）宣布投入 1800 万美元用于支持先进核能技术研发，将通过四种途径进行资助，包括：（1）核能首堆示范预备项目（FOAK）；（2）早期先进反应堆开发项目；（3）监管支持资助；（4）“加速核能创新门户”（GAIN）资金援助；旨在整合联邦政府研究机构、大学与相关企业研究力量，加速新型反应堆系统概念设计和先进核能技术的研究突破，推进美国核电产业发展，提高核电技术的经济效益和安全性。

IEA：全球能源系统深刻变革 电气化水平持续提升

11月23日，国际能源署（IEA）发布《世界能源展望2018》报告¹指出，从电气化不断发展到可再生能源的扩张，从石油市场动荡到天然气市场崛起，无不显示全球能源系统正在发生重大转变，而政府的决策将决定未来能源系统的发展走向。报告采用情景分析法展望了至2040年全球能源发展趋势，及对能源供需、碳排放、空气污染和能源获取的可能影响。报告要点如下：

1、世界正逐步建成一个不同于以往的能源系统，但能源系统仍存在明显缺陷

经济性：虽然太阳能光伏和风电生产成本继续下降，但2018年油价在四年来首次攀升至80美元/桶以上，一些国家历尽艰辛开展的化石燃料消费补贴改革正陷入困境。

可靠性：从委内瑞拉石油产量急转直下可以看出，油气供应的风险依然存在。全球1/8的人口仍用不上电，而电力行业的新挑战（从电力系统灵活性到网络安全）也接踵而至。

可持续性：全球能源相关二氧化碳排放在连续3年持平后，于2017年再度增长了1.6%。年初的数据表明，2018年碳排放还将继续增长，这与实现气候变化目标的要求相去甚远。与能源相关的空气污染仍导致每年数百万人过早死亡。

2、政府采取的行动将对未来能源系统的发展方向起决定性作用

超过70%的全球能源投资将由政府推动，世界能源的命运取决于政府的决定。制定正确的政策和合适的激励措施对保障能源供应、减少碳排放、改善城市中心的空气质量，以及扩大非洲和其他地区的基本能源供应至关重要。

快速、低成本的能源转型，需要加速投资更清洁、智慧、高效的能源技术，政府也需确保包括电网在内所有能源供应的关键要素都能保持稳定可靠。随着能源转型继续推进，以往的油气供应和投资风险并未缓解反而可能恶化。电力行业的变革要求即使电力系统实现低碳化，电力市场也依然能够保持稳定。世界能源供应每年需要投资2万亿美元，其中超过70%来自国有实体或是因为监管规定能够保障全部或部分投资回报而进行的投资。政府政策也影响着能效提高和技术创新步伐。

3、世界能源的未来变革方向

在新政策情景中，收入增加以及发展中经济体城区的17亿新增人口将带动全球能源需求增长，到2040年能源需求增长将超过1/4。如果能效无法持续改善，这一增量还会翻倍。所有的增长都来自于以印度为代表的发展中经济体。2000年，欧洲和北美在全球能源需求中的比重超过40%，亚洲发展中经济体的比重约为20%。到

¹ World Energy Outlook 2018. <https://www.iea.org/weo2018/>.

2040 年，这一情况将完全逆转。

全球能源消费的主要阵地向亚洲迁移。亚洲占全球天然气消费增量的一半，风电和太阳能光伏增量的 60%，石油消费增量的 80% 以上，煤炭和核电增量的 100% 以上（其他地区总体呈负增长）。按装机容量计算，目前全球十大电力公司榜单中，中国企业占据六席。

页岩革命持续撼动油气供应，使美国得以超越其他国家成为世界上最大的油气生产国。在新政策情景中，到 2025 年美国在全球油气产量增量中的比重会达到一半以上（石油占近 75%、天然气占 40%）。到 2025 年，全球近 1/5 的石油和 1/4 的天然气将产自美国。页岩革命给严重依赖出口的传统油气出口国带来了更大压力。

由于供应、需求和技术不断变化，世界能源将以各种不同的方式形成关联。到 2040 年，亚洲在全球油气贸易中的比重将从当前约 1/2 增至 2/3 以上，国际能源贸易将越来越多地从中东、俄罗斯、加拿大、巴西和美国流向亚洲。同时，随着数字化的发展和可再生能源技术性价比日益提高，以分布式能源和以社区为基础的能源供应模式得以发展，地方上也会出现一些新型供能方式。

成本渐低的可再生能源技术、数字化的应用与日益重要的电力将是变革的重要方向和实现众多可持续发展目标的关键所在。

4、化石燃料变化趋势

在新政策情景中，电力、可再生能源和能效改善蓬勃发展的态势会抑制煤炭需求的增长。煤炭消费在下跌两年后于 2017 年出现反弹，但对新建燃煤电厂的投资大大低于前几年的水平，2020 年后投运的新建煤电项目将大幅减少。但煤电还不会从全球电力结构中被剔除：亚洲燃煤电厂的平均寿命不足 15 年，发达经济体煤电厂平均寿命则为 40 年左右。到 2040 年，工业煤炭消费将略有增加，全球煤炭消费总量保持不变，中国、欧洲和北美减少的煤炭消费与印度和东南亚增长的消费相抵。

乘用车石油消费将在 2020 年代中期达到峰值，但石化、卡车、飞机和船舶工业依然会使石油总体需求上升。到 2040 年，3 亿辆电动汽车每天可替代 300 万桶石油需求，因传统汽车燃油效率提高而减少的石油需求则是这一替代量的三倍。其他领域的变革步伐不像乘用车行业一样迅速，即使全球塑料循环利用率翻倍，也仅能将日均超过 500 万桶的需求增长削减约 150 万桶。石化行业将是石油消费最大的增长源。新政策情景中，石油需求总体将增长到 1.06 亿桶/日，全部来自发展中经济体。

到 2030 年，天然气将超越煤炭成为全球能源结构中的第二大燃料。全球天然气消费将增长 45%，其中工业消费贡献最大。为了应对以中国为首的发展中经济体不断上涨的需求，液化天然气贸易将增长逾一倍。随着通往亚洲市场新路线的开启，俄罗斯仍是世界上最大的天然气出口国，但日益一体化的欧洲能源市场为购买方提供了更多的天然气供应方案。电力系统中风电和太阳能光伏比重的增加降低了欧洲

天然气发电的设备利用率，建筑改造也降低了天然气供暖消费。但天然气基础设施仍将发挥关键作用，特别是在冬季保障供热和供电方面。

化石燃料供应投资可能与消费发展趋势失调。由于化石燃料需求可能放缓，当前新建上游项目减少。新政策情景中，可能会导致供应短缺进而推高价格，石油供应将出现危机。过去三年获准新建的原油项目平均数量仅为到 2025 年保障市场平衡所需新项目的一半。仅依靠美国致密油供应很难应对这一局面，其产量需达到现在的三倍才能解决供应短缺。与石油相反，已公布的一些大型新建天然气项目（如卡塔尔和加拿大），已能应对 2020 年代中期液化天然气市场需求。

5、电力行业正发生重大变革，将成为未来减排先锋

电力占当前终端用能的 19%，随着需求增长电能将超过终端用能部门所有其他燃料，占比将会继续上升。政策支持和技术成本降低使可再生能源发电迅速增长，推动电力行业成为减排先锋，但为了确保可靠供应，整个电力系统的运行方式需要改变。

照明、制冷、电动机等能效提高，使发达经济体电力需求增长放缓，但由于发电结构变化和基础设施升级，仍需大量投资。当今的电力市场设计不能匹配发电结构的迅速变化，批发市场带来的收入不足以激励发电领域新的投资，如果不妥善解决，电力供应可靠性将大打折扣。在需求方面，更严格的能效标准带来的能效收益在抑制能源需求方面发挥了核心作用，自 2010 年以来，30 个 IEA 成员国中有 18 个国家电力消费已有所下降，发展趋势取决于电力在住宅、办公和工厂供热以及交通方面的进展速度。

电力增长主要由发展中经济体推动，发展中经济体电力需求翻倍，使得更清洁、人人可用、可负担的电力成为经济发展和减排战略的核心。到 2040 年，全球电力需求增长的近 1/5 将来自于中国的电动机需求；发展中经济体不断攀升的制冷需求带来类似的电力消费增长。全球各领域能源供应投资中，有近 1/3 用于发展中经济体的发电设施和电网建设。在终端用户价格低于回收成本的地区，这一投资可能无法实现。但是，受到严格监管的市场中装机建设可能会超前于需求：据估计，包括中国、印度、东南亚和中东在内的地区目前电力装机过剩达到 3.5 亿千瓦。

电气化为终端用能脱碳化提供了一条有前景的路径，但仍需要更全面的能源系统战略。电气化未来情景中，假设电气化实现最大化，到 2040 年电动汽车将占全球汽车的一半；建筑行业 and 工业的供热需求中电力占比将快速增长；几乎所有的消费设备和电器将电气化；将完全普及用电。电气化减少了空气污染物的排放，与新政策情景相比将减少近 200 万人的过早死亡。然而，如果不加大电能供给端的脱碳，整个能源部门的碳排放仍将持续增长，仅仅依靠电气化还不足以让世界走上实现气候目标的轨道。

太阳能光伏和天然气正在重构电力行业装机容量。太阳能光伏装机容量到 2025 年将超过风电，2030 年左右超过水电，2040 年前超过煤电，仅次于天然气居全球总装机容量第二位。大规模电站仍将是光伏发电主要投资目标。根据报告一项新的评价指标，在灵活性成本相对较低的电力系统中，风电和太阳能光伏将占有优势。在几乎所有地区，太阳能光伏都比新建煤电更有竞争优势。

发电结构将发生变化。煤炭仍然是主要发电来源，不过其占比将大幅下降，天然气基本可以填补这一降幅。在新政策情景中，到 2040 年可再生能源与煤炭在电力结构中的占比将互换，可再生能源发电将增长约 25% 达到 41%。水电仍将是低碳电能的最大来源，其次是风能和太阳能。核电发电量占比将保持在 10% 左右，但地理格局将有所变化，传统核电大国将在 2040 年迎来一波退役潮，以中国、印度和俄罗斯为首的发展中国家核电将大幅增加。

灵活性将是电力系统的新主张。太阳能光伏和风电的崛起，使电力系统的灵活性变得空前重要。新政策情景中，欧洲部分国家、墨西哥、印度和中国都要求电力系统在大范围内高度灵活。储能电池成本迅速下降，电池与燃气调峰电厂在应对短时供需波动方面的竞争日益激烈。然而，传统电厂依然是保持系统灵活性的主力，新的电网互联、电力储存和需求侧响应技术将起到支持作用。欧盟建设“能源联盟”的工作进展说明，区域融合有助于推动可再生能源消纳。

进行准确投资以保证电力供应。电力部门的投资需要及时有效，以确保电力安全。在竞争性批发电力市场，可再生能源的份额不断上升，可能还需要进行市场改革，以确保足够的投资以维持电力供应。在受严格监管的市场中，目前在建或正在规划阶段的装机将超过新增需求，过度投资的风险仍然存在。

恰当的政策与市场设计将至关重要。在竞争性电力市场中，投资不足的风险威胁着电力供应安全。如果没有协调一致的行动和市场改革，一些发达经济体的电力供应可能会发生波动甚至危险。在重新确定电力供应方向时，除技术成本外，政府还需考虑向电力系统提供服务的价值。

6、可持续发展情景将是满足全球温室气体减排与能源普及目标的解决方案

可持续发展情景为实现能源可及性、空气质量和气候目标提供了一种综合策略，包括二氧化碳捕集、利用与封存在内的所有低碳技术都将为全球能源行业的广泛转型做出贡献。随着低排放发电设施的建设，电力行业的转型会更加深入和迅速。可再生能源技术为能源普及提供了主要路径。终端用能电气化增长强劲，直接利用可再生能源（包括生物质能、太阳能和地热）供热和制造交通燃料也发展迅猛。可再生能源在电力结构中的比重将从 1/4 增长到 2040 年的 2/3，在供热中的比重将从 10% 增长到 25%，在交通运输行业中的比重将从 3.5% 增长到 19%（包括直接利用和间接利用）。IEA 还首次在可持续发展情景中引入了水这一维度，到 2030 年清洁用水和

普及卫生设施增加的全球能源需求不到 1%，将未处理的废水量减半将增加超过 600 TWh 的污水处理电力消耗，其中 30% 可由能量回收发电供应。

7、石油和天然气对环境的影响

即便是在可持续发展情景中，到 2040 年天然气和石油在全球能源需求中仍将占重要份额。IEA 首次对全球石油和天然气生产、加工和运输过程中的间接排放进行全面估算，这些环节的间接排放约占能源行业温室气体总排放（包括二氧化碳和甲烷）的 15%。不同来源的排放强度差别很大：用排放最低的石油替代排放最高的石油可减排 25%；同样地，天然气排放可以降低 30%。

要减少把石油和天然气送到终端用户所产生的排放，还有很多工作要做。减少甲烷排放和消除放空燃烧是最经济有效方法中的两种，其他更具“革命性”的可选方案包括利用 CO₂ 提高石油采收率、使用低碳电力开展油气作业和把烃类转化为氢气（并配备碳捕集设施）。日本等国家正密切关注零排放氢能在能源系统的应用。

（岳芳 郭楷模）

欧盟提出风能技术研发创新五大优先主题领域

10 月 24 日，欧洲风能技术创新平台（ETIPWind）发布《风能战略研究和创新议程 2018》报告²指出，伴随技术进步和成本下滑，风能已经逐渐发展成为欧洲主要的电力资源，到 2030 年欧洲的风电装机预计在当前基础上翻一番达到 323 GW，届时将满足全欧近 30% 的电力需求。为了加速推进欧洲风能技术的研发创新，进一步降低风电的平准化成本，促进风电的并网集成，维持欧洲风电技术的全球领导地位，报告提出了风能技术研发创新需要优先开展的五大主题领域，具体要点如下：

1、电网和并网集成

（1）开发能源系统的灵活性解决方案。开发增强型虚拟电厂和变电站，以改善风电场的管理，应对风电随机性、间歇性特性，对分布式风能进行聚合、优化控制和管理，解决电力系统的发、供、用瞬时平衡特性（可再生能源发电出力往往跟用电负荷峰谷呈逆向分布），以解决高比例消纳风能给电力系统带来的波动性影响，确保电力系统供电平稳。

（2）电网扩张战略和运营规划。制定电网扩张计划，以构建覆盖全欧的大电网促进欧洲国家电力市场进一步一体化，实现对欧洲不同区域风电的有效整合，既可以增加风能利用率，也能降低对进口燃料的依赖。同时要为运营制定合适的解决方案，以便有效地连接新设施，管理电网拥堵。

（3）改善储能技术。发展更加高效、长寿命低成本的日间储能技术，解决风电

² Strategic research and innovation agenda 2018.

<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/ETIPWind-strategic-research-and-innovation-agenda-2018.pdf>

并网给电力系统带来的波动性，提高电网的灵活性和经济性，保障电力系统供电的稳定性。此外，还应支持开发季节性储能系统，并建设相应系统的示范工程、业务模型和市场框架。

(4) 发展混合能源系统。随着风能等分布式电源接入电网的份额日益增多，给整个电力系统的稳定运行带来了挑战。因此亟需发展混合能源系统（如风光混合、光储混合、核能-可再生能源混合等系统）以充分利用不同能源的各自优势、克服劣势，来保证新接入的分布式能源与电力系统兼容，维护电力系统的稳定性。

2、风电系统的运营和维护

(1) 发展智能风电场实现高效运营。利用先进的传感器和数据采集技术（如无人机）实现对风电运行情况的实时监测和数据的高效低成本采集；开发自适应交互式大数据控制技术以改善能量输出，优化风力涡轮机的运营。随着风电数字化发展，潜在的网络威胁日益增多，需要开发相应的网络安全防护系统保障风电场的网络安全。

(2) 风电全生命周期管理。发展基于自动化、大数据、人工智能的风电全生命周期管理平台，实现对风电场机组、配置、组件对风电项目的适应性高效分析，对不同阶段的风险进行预警，实现对风电项目不同阶段的风险有效管控。改进数据聚类分析以更好地理解风力涡轮机性能退化机制。

(3) 开发数据分析、诊断技术和运维策略。利用大数据和人工智能技术分析来确定导致风电设备故障（如停机事件）事件的根本原因，改善风电维护策略。

(4) 风力涡轮机寿命优化。开发性能老化测试技术以获取风力涡轮机性能老化、剩余寿命和失效机制的相关数据，延长设备运行寿命，降低风电涡轮机组件的维护成本。

3、下一代风电技术

(1) 研究开发全新的风电技术。包括：智能转子、发电机、基础结构和电力系统等，以进一步降低风电的平准化成本，推动风电技术发展。

(2) 数据驱动的涡轮机设计优化。利用安装在风力涡轮机上的众多先进传感器，收集风力涡轮机运营情况数据，利用大数据分析工具实现数据的综合分析，更好地了解外部环境、风电架构对风电运行效能的影响，以实现对风力涡轮机设计优化，提升运营效能。

(3) 优化材料和结构。研发新材料，以制备更加轻质、更高强度、更耐用、更经济的叶片，以延长涡轮机寿命，降低制造成本。

(4) 风电场高精度建模。利用新的传感技术、并行计算技术对风场入流及其变化过程进行建模，从而研究单台机组和整个风场与场内大气运动的关系，建立高精度的模型，并对模型进行校验和验证。

4、海上风电辅助设施

(1) 开发更加高效的集成并网技术和动态模型。针对当前海上风电并网存在的技术难题进行攻关，评估直流并网技术的成本，开发最优的并网集成技术方案、高精度动态模型以更好地了解风速、风电机组架构、组件对风电运行性能的影响，以指导设计优化。

(2) 创新的风电塔筒和基础结构。开发全新的塔筒和基础结构，将海上风电的成本降至与陆上风电项目相当，促进其发展。

(3) 创新的海上变电站和电缆。创新优化海上风电的电力基础设施（包括变电站、电缆等），如为海底电缆开发万向接头、开发标准的变电站设计和布局方案等，以降低海上风电场的成本。

(4) 场址选取。由于海上风电场外部条件要比陆上复杂得多，风力资源、建设条件、施工及运营环境和陆上的都不相同，因此要开发相关的环境和海洋气象模型以充分分析海洋气象条件（如气象、风速）和环境条件（水流、地质）的因素，以指导海上风电场的选址。

5、浮动式海上风电技术

(1) 加大浮动式海上风电系统的研发，提高海上风电场的建造效率。

(2) 探索全新的海底电缆设计和安装方案，以提高安装效率降低成本。

(3) 根据海水深度和经济性考虑，加速探索浮动式深海风电场建设和应用。。

(郭楷模)

欧盟评估巴黎气候协议实施进展

10月26日，欧盟发布《欧盟和巴黎气候协议：评估卡托维兹缔约方大会的进展情况》年度报告³，指出2016-2017年欧盟排放量增加了约0.6%，详细列举了过去一年欧盟应对碳排放制定的政策措施。欧盟今年还通过了一套全面的气候法案以满足2030年的碳减排目标，各成员国将针对欧盟的新要求制定能源和气候计划。报告主要内容如下：

1、通过立法履行国际承诺

1990年至2017年，欧盟温室气体排放量减少了22%，同时经济增长了58%。然而，2017年欧盟排放量增加了约0.6%，主要来自运输和工业部门。欧盟仍继续保持经济增长与碳排放脱钩，每单位GDP的二氧化碳排放是1990年的一半，这主要归功于对创新低碳技术的大力投资，也证明了经济、就业和气候行动可以齐头并进。尽管2017年排放量略有增加，欧盟并未偏离到2020年温室气体排放较1990年减少

³ EU on track to implement Paris commitments, Member States preparing 2030 energy and climate plans.
https://ec.europa.eu/clima/news/eu-track-implement-paris-commitments-member-states-preparing-2030-energy-and-climate-plans_en

20%的道路。然而，由于过去几年中碳排放的减排幅度较为缓慢，要实现这一目标仍面临巨大挑战。2018年，欧盟通过了一套全面的气候立法，承诺到2030年将温室气体排放相比1990年减少40%，并将可再生能源和能效指标分别提升至32%和32.5%。如果这些政策得以全面实施，到2030年欧盟温室气体排放将减少约45%，超过欧盟根据巴黎协定承诺的目标。

道路运输。欧盟委员会通过了三套全面措施以减少公路运输排放。2017年11月，欧盟委员会提出了一项法案，为2020年后的乘用车和货车制定新的CO₂排放标准：到2025和2030年，新乘用车和货车平均排放量应分别比2021年低15%和30%，另外还提出了首个新卡车排放量标准，即到2025年和2030年比2019年降低15%和30%，该提案补充了新重型车辆的碳排放和燃料消耗的法规。此外，欧盟于2018年5月提出了一项全面的电池行动计划，在欧洲建立具有竞争力和可持续性的电池生态系统，以及跨欧洲部署替代燃料基础设施的行动计划。欧盟委员会还提议修订三项指令：高速公路大型运输车辆税标签（Eurovignette）指令，以促进更为智能的道路基础设施收费；清洁车辆指令，以促进公共采购招标中的清洁车辆解决方案；联合运输指令，以促进货物运输不同模式（如卡车和火车）的综合运用。

能效与可再生能源。2018年6月，欧盟理事会、欧洲议会和欧盟委员会达成了临时协议，包括：能效指令，设定了新的欧盟2030年能效目标（32.5%），并将于2023年提出修订条款，同时将节能指标延长至2020年以后；可再生能源指令，为2030年制定了新的指标（可再生能源占比达32%），改善可再生能源支持计划的设计和稳定性；精简行政流程；提高运输和供暖/制冷行业可再生能源目标；实行新的森林生物质可持续性标准，最大限度降低欧盟使用不可持续原料获取能源的风险。此外，于2018年5月通过了修订的建筑物能源效能指令，以加快建筑物节能翻新速度，提高建筑物能源效能及智能化。

能源联盟管理。2018年6月，欧盟理事会、欧洲议会和欧盟委员会达成了能源联盟管理条例的临时协议。欧盟成员国将制定2021-2030年的国家能源和气候计划，并定期报告实施进展，欧盟委员会将监测整个进展情况。欧盟及成员国还将制定从2020年起至少30年的长期战略。这一协议将纳入现有的欧盟气候监测和报告机制。

氟化物气体法规。该法规规定了2015年以来欧盟逐步减少氢氟烃使用及关于氟化物气体排放的其他措施，其目标是到2030年相比2014年减少约80%的排放量。该法规2016年的报告显示，氟化物气体排放（二氧化碳当量）降低了2%，氢氟烃最大允许使用量降低了4%以上。

循环经济。作为欧盟循环经济行动计划的最新成果之一，欧盟循环经济塑料战略建立了一个框架，旨在改善塑料再利用和再循环，增加对再生塑料的需求，有助于抑制塑料生产过程中二氧化碳排放和塑料废物的焚烧。最近通过的废弃物法规有

可能显著减少温室气体排放。

气候变化适应政策。欧盟于 2013 年通过气候变化适应政策，目前进展为：已有 25 个成员国制定了国家适应政策；气候行动已纳入欧盟资助工具；该政策已完全纳入“市长公约”，1000 多个城市致力于提高气候适应能力，市民数量超过 15 万的城市中，已有 40% 实行了适应计划。

2、修订欧盟碳排放交易体系监管框架

欧盟碳排放交易体系（EU ETS）涵盖约 11 000 个发电站和加工厂，以及成员国国内和相互间的航空运输。2017 年，由于欧盟 GDP 增长 2.4%，超过第 3 阶段交易期（2013 年开始）以来的任何一年，EU ETS 覆盖的设施排放量较上年增加 0.18%，打破了 2013 年以来的下降趋势。这一增长主要来自于工业部门，电力部门排放略有下降，航空碳排放持续增长，较 2016 年增加 4.5%，达到 6420 万吨二氧化碳当量。2018 年 3 月 4 日，欧盟公布修订后的 ETS 指令，从 2021 年开始将碳排放线性减少系数提高至每年 2.2%，以降低排放上限，这意味着 2021-2030 年之间，每年将减少排放 4800 万吨二氧化碳当量。此外，该指令还通过加强市场稳定储备（MSR）来减少交易配额盈余。2017 年欧盟 ETS 配额拍卖为其成员国带来了 56 亿欧元的收入，比 2016 年增加了 18 亿欧元，2013 年-2017 年拍卖收入约 80% 用于与气候和能源相关的活动，如对可再生能源和能源效率的投资。

3、扩大气候融资

LIFE 计划⁴。2014-2017 年 LIFE 计划预算为环境和气候行动分项计划分别提供了 11 亿欧元和 3.6 亿欧元资金。

NER 300 计划。该计划为世界上最大的创新低碳能源示范项目融资计划之一，已有 20 个成员国的 39 个可再生能源和碳捕集项目通过拍卖 ETS 配额获得 21 亿欧元资助，其中 6 个项目已投入运营，11 个项目已进展至最终投资决策阶段。运营项目每年产生可再生能源电力 3.1 TWh，可减少 130 万吨碳排放。欧盟 ETS 修订后，将创建一个范围比 NER 300 更广的创新基金，并于 2020 年开始实行。

将气候纳入欧盟预算。欧盟计划在 2014-2020 年将至少 20% 的预算用于气候相关行动，2017 年该项支出占欧盟预算的 20.1%。根据目前的多年财政框架，年平均预算将达到 2060 亿欧元，占欧盟总预算的 19.3%。欧盟委员会已于今年 5 月提议在下一个欧盟长期预算（2021 年-2027 年）中增加这一份额，将所有支出的 25% 将用于实现气候目标。

4、国际气候合作

航空。欧盟持续参与国际民用航空组织（ICAO）的国际航空碳抵消和减排计划（CORSIA）。自 2012 年以来，欧盟通过 EU ETS 解决航空排放问题，并基于 2016

⁴ LIFE 计划是欧盟的环境和气候行动筹资工具，通过资助具有升值潜力的项目，促进欧盟环境政策和立法的实施、更新和发展。

年 ICAO 大会报告的 CORSIA 结果，决定将航空 EU ETS 延长至 2023 年底，并准备从 2021 年开始实施全球市场措施。2017 年欧盟航空排放量比 2016 年高 4.5%，占欧盟所有排放量的 4%，主要来自国际航空，其中包括 250 多家欧盟以外但在欧盟经济区运营的商业飞机公司。

海事政策。2018 年 4 月，国际海事组织（IMO）批准了一项减少温室气体排放的初步战略，计划到 2050 年至少降低 50% 的碳排放（与 2008 年相比）。欧盟“航运业二氧化碳排放监测、报告和核实机制”（MRV）于 2018 年 1 月 1 日开始首个监测周期，欧盟委员会目前正在制定一项修正案，以与 IMO 的数据收集系统保持一致。

EU ETS 与瑞士碳市场连接。2017 年 11 月，欧盟和瑞士签署了一项协议，将 ETS 与瑞士碳交易市场连接，一旦满足所有连接条件，双方将交换批准书，并将于次年 1 月 1 日正式生效。

国际碳市场。欧盟正积极参与联合国气候变化框架公约（UNFCCC）关于“巴黎协定规则手册”有关市场国际合作方面的谈判。另外，欧盟委员会正加强与中国在排放交易和碳市场方面的合作，以帮助其在国家层面建立一个功能完善的排放交易体系，2018 年 7 月在欧盟-中国峰会上签署的谅解备忘录将为进一步开展此类合作奠定坚实的基础。

（岳芳 陈伟）

项目计划

ARPA-E 资助近亿美元支持九大领域变革性能源技术研发

11 月 15 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布第四轮开放式招标计划（OPEN 2018），即资助 9800 万美元用于遴选的 40 项变革性能源技术开发项目⁵，旨在整合美国顶尖能源创新者（科学家、工程师等）研究力量，促进颠覆性能源技术的创新，以完善能源系统，保障美国能源安全和全球能源主导地位。本次资助涵盖了包括集中式发电、分布式发电、电网储能、制造效率等在内的九大技术领域，具体内容参见表 1。ARPA-E 除了设立领域主题研究计划外，还每三年开展一次开放式项目招标计划，支持非共识探索研究和机会型探索研究，避免遗漏在主题研究领域之外的创新思想。2009 年第一轮开放式招标（OPEN 2009）向 37 个项目资助了 1.67 亿美元，2012 年第二轮（OPEN 2012）向 66 个项目资助了 1.3 亿美元，2015 年第三轮（OPEN 2015）向 41 个项目资助了 1.25 亿美元。

表 1 变革性能源技术研发项目具体内容

技术领域	项目描述
------	------

⁵ Department 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>

集中式发电 1235 万美元	开发一种先进的等离子体制动器和控制装置
	开发具有可控直流输出功能的兆瓦级发电机
	开发剪切流动稳定 Z 箍缩聚变反应堆电极
分布式发电 795 万美元	利用拓扑算法开发分布式能源 (DER) 系统模型
	设计一个自动的、弹性的、网络防御功能的变电站保护和控制系统
	制定负荷控制策略, 以提高电网可靠性
电气效率 1697 万美元	将氮化镓 (GaN) 电路和永磁体结合起来开发微型核磁共振系统
	开发一种低能耗、超高效的高速光互连技术
	开发受控镁离子扩散的 P 型氮化镓半导体制造工艺, 以加速 GaN 功率器件发展
	开发一种具有记录低电阻功能的新型碳化硅 (SiC) 基的金属氧化物半导体场效应管
	开发一种新型极热流量微型冷却器
	为 SiC 功率集成电路开发一种可扩展、可推广的制造技术
	开发一种低功耗、低成本的频率稳定的相干光学低能波分复用 (WDM) 直流互连技术
	创造一种高热电转化效率的“纳米声学”热电装置
电网 871 万美元	开发尺寸减小 50%、发电效率提高 10% 以上的新型变压器
	开发一种革命性的变压器聚合物添加剂增加远离变压器绕组 (线圈) 的热传导
	开发可实现 100 % 可再生能源发电的可靠的电力运行系统;
	开发一个网络负载管理框架
电网储能 350 万美元	开发一种使用环境同步相量数据进行灵敏报警的持久性电表
	开发一种基于新型热力循环的先进泵送式热电储存系统
	开发一种基于多结光伏器件的高温 (大于 2000 °C) 光热转换系统
制造效率 743 万美元	针对加氢站开发一种以氨为原料的高纯度氢气制备工艺
	采用高导电、高表面积的热交换器开发节能 40% 的新型气体压缩机
	开发一种可以利用可再生能源电力将空气和氢气转化成氨气固态电解质的电化学反应装置
	开发一种基于光催化的氨气到氢气反应器
	开发一种由高硬度的氧化石墨烯片制成的新型高选择性和高通量膜
交通用能转换 3132 万美元	开发一种适用于混合电动汽车的对置活塞发动机
	开发一种从静止电极到旋转电极的可靠、无接触电流传输机制
	开发一种内部冷却永磁电机的新方法
	开发宽带隙电力电子封装方法以实现更高温度下的高功率密度操作
	开发模块化超稳定碱性离子交换膜
	新型聚合物增强型可充电铝碱电池技术
	开发一种乙醇燃料汽车用的金属支撑的固体氧化物燃料电池 (MS-SOFC) 技术
设计和演示用于混合动力和增程器应用的电气化全功能对置活塞四冲程发动机	

	开发廉价丰富的纳米结构复合材料取代传统的镍和钴基阴极材料
	开发一种无需预先加热和加湿进入的燃料流、能够在 80-230 °C 的中低温度范围工作的聚合物燃料电池
	开发基于可充电锂电池的低成本，易于集成且可靠的电网储能系统
	开发一种氢氧化物交换膜燃料电池
交通燃料 334 万美元	开发一种能够将海洋大型海藻转化为包括生物燃料在内的多种生物基产品的新型高效燃料生产工艺
车辆 692 万美元	发展可以取代传统汽车行业的钢铁材料的高强度、高韧性的碳纤维

(于小燕 郭楷模)

DOE 资助 1800 万美元推进先进核能技术研发

11 月 13 日，美国能源部（DOE）宣布投入 1800 万美元用于支持先进核能技术研发⁶，旨在整合联邦政府研究机构、大学与相关企业研究力量，加速新型反应堆系统概念设计和先进核能技术的研究突破，推进美国核电产业发展，提高核电技术的经济效益和安全性。本次资金将通过四种途径进行资助，包括：（1）核能首堆示范预备项目（FOAK），针对存在重大技术和许可证审批风险且到 21 世纪 20 年代中后期可能部署的核电厂，进行先进反应堆设计开发和先进技术升级；（2）早期先进反应堆开发项目，提出最能促进先进反应堆设计和技术发展以及商业化的概念和想法；（3）监管支持资助，为解决设计监管问题、监管审查许可证审批的专题报告或论文，以及为了获得先进反应堆设计和能力的认证和许可批准的其他工作提供直接支持。（4）“加速核能创新门户”（GAIN）资金援助。具体内容参见表 1。

表 1 先进核能技术研发项目具体内容

资助途径	项目描述	资助金额/ 万美元
核能首堆示范预备项目	小型模块化反应堆（SMR）被动安全系统性能集成/单独效果测试程序（第一阶段）：开发一套可配置测试平台以测试 SMR 被动安全系统性能，加速 SMR-160 及其他 SMR 的商业化和获取美国核管理委员会（NRC）及国际监管机构许可	162
先进反应堆开发项目	<ul style="list-style-type: none"> 核设施电缆老化验收标准：制定机械、电气、热和化学状态监测测试验收标准用于电缆老化验收 Exelon 公司沸水反应堆（BWR）建模分析，以预测特征值和热限制：通过反应堆建模工具 Virtual Environment for Reactor Applications（VERA）进一步了解 Exelon 公司的 15 个 BWR 堆芯行为，改进 BWR 堆芯性能（包括反应性和热裕量）预测以降低循环产能和燃料成本 	1430

⁶ U.S. Advanced Nuclear Technology Projects to Receive \$18 million from the U.S. Department of Energy.
<https://www.energy.gov/ne/articles/us-advanced-nuclear-technology-projects-receive-18-million-us-department-energy>

	<ul style="list-style-type: none"> •模块化室内电子束焊接：通过模块化室内电子束焊生产大型厚截面组件 •风险维护自动化平台：开发和运行风险维护自动化试点平台，显著降低核电站运营核维护成本 	
监管支持资助	美国陆地能源公司-美国核监管委员会（TEUSA-USNRC） 一体化熔盐反应堆（IMSR）的预审核	50
GAIN	<ul style="list-style-type: none"> •用于铅基快堆的氧化铝成型奥氏体不锈钢的开发和测试：以解决铅基快堆的关键问题（高温下液体铅的腐蚀性）；优化氧化铝成型奥氏体不锈钢用于铅基快堆关键部件材料，如燃料棒包层、热交换器、反应堆内部构件和反应堆容器，ORNL 将进行液体铅测试 •评估 Elysium 公司熔盐快堆的燃料循环技术可行性，主要涉及闭式燃料循环和消除轻水堆废料的相关创新概念研究，包括 50 年以上无需净化或在不去除锕系元素情况下进行在线净化 •在核试验台上评估 NexDefense 公司现有核网络安全软件，为商业应用做准备 •在沸水堆和小规模压水堆燃料设计中采用浓缩钷，评估其等离子体分离工艺相关技术和设计改进，以用于钷-157 商业浓缩的等离子体分离工艺设备 •进行混合能源系统设计和分析，用核电热电联产取代现有田纳西州金斯波特的电力设施 	215

（岳芳 郭楷模）

前沿与装备

分子光谱技术成功揭露钙钛矿电池空穴材料中复合物形成机理

目前高效钙钛矿太阳能电池采用的空穴材料中含有叔丁基吡啶（tBP，用于控制形貌）和三氟甲磺酰亚胺锂（LiTFSI，用于提升电导率）添加剂（通常按照 tBP:LiTFSI=6:1 的摩尔比），其中 tBP 液体易挥发腐蚀钙钛矿，而 LiTFSI 具有吸水性，两者尽管有助于改善空穴性能但也对钙钛矿的稳定性有着显著的影响，但实验结果却显示两者同时作为添加剂时钙钛矿的稳定性是较好的。因此阐明 tBP 与 LiTFSI 的相互作用机理、最佳比例及其对钙钛矿电池的影响，有助于进一步提升钙钛矿电池的性能。加利福尼亚大学圣地亚哥分校 Ying Meng 教授课题组利用分子光谱技术和器件性能表征首次实验上揭露了空穴中 tBP-LiTFSI 复合物形成机理及其对电池性能的影响。研究人员首先配制了不同摩尔比（tBP: LiTFSI=2:1/4:1/6:1）的 tBP 与 LiTFSI 混合液，三种混合液在外观上就呈现出不同状态，2:1 的混合液呈现粘稠状、4:1 呈现蜡状液体、6:1 呈现凝胶状。由此可知 LiTFSI 浓度过大则无法形成流动性良好的液体。通过傅里叶红外光谱测试显示，相比单一的 tBP 伸缩峰 $\sim 1596\text{ cm}^{-1}$ ，tBP/LiTFSI 混

合液的伸缩缝的位置发生了显著的蓝移，但 6:1 的样品除了蓝移的 $\sim 1610\text{ cm}^{-1}$ 峰还保留了 $\sim 1596\text{ cm}^{-1}$ ，表明 6:1 样品中存在过量的 tBP；从高斯峰进一步观察到 tBP/LiTFSI 吸收峰从 1596 cm^{-1} （对应单一的 tBP）红移到了 1610 cm^{-1} ，而这个吸收峰是源自 tBP 中吡啶环的氮孤对电子对 LiTFSI 中锂离子的络合作用，即 $\text{Li}^+\text{-N}$ 键合，意味着形成了 tBP-LiTFSI 复合物。接着将 tBP、以及不同摩尔比的 tBP/LiTFSI 混合液放置于氮气氛的手套箱内研究 tBP 的挥发作用，因为手套箱内可以排除 LiTFSI 吸收水分的影响，水含量不到 0.1ppm。随着时间推移，tBP 样品和 6:1 的 tBP/LiTFSI 样品重量不断下降，这主要是 6:1 样品存在过量的 tBP 挥发所致，而 4:1 和 2:1 的 tBP/LiTFSI 混合液基本没有变化，表明了 tBP-LiTFSI 复合物能够有效抑制 tBP 挥发。接着提升手套箱内的水含量至 0.5%，研究 LiTFSI、tBP/LiTFSI 混合液的吸水特性，结果显示相比单独的 LiTFSI，混合液的吸水量较少，且 4:1 的样品吸水量最少，即 tBP-LiTFSI 复合物也有助于抑制 LiTFSI 的吸水特性。上述结果表明形成复合物后的 tBP-LiTFSI 会降低 tBP 或 LiTFSI 组分独自存在时对钙钛矿电池的负面影响，进而会得到具有更高稳定性能的钙钛矿电池。进一步研究了不同摩尔比的 tBP/LiTFSI 混合液添加剂对电池性能的影响：4:1 的样品电池光电转换效率最优，且迟滞效应最小，重复性最佳。该项研究首次实现对空穴材料中常用的 tBP 和 LiTFSI 添加剂组合最佳摩尔比、复合物形成机理及其对电池性能的影响系统研究，为设计开发稳定的替代空穴材料和钙钛矿电池积累了关键的理论知识。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》⁷。

（郭楷模）

一步法合成廉价高效苯胺衍生物空穴传输材料

钙钛矿太阳能电池效率已经突破 23%，被认为是光伏领域最具发展前景的下一代光伏技术。然而，当前高效的钙钛矿太阳能电池均是采用离子掺杂改性的 2,2',7,7'-四[N,N-二(4-甲氧基苯基)氨基]-9,9'-螺二芴（spiro-OMeTAD）空穴传输材料，制备工艺繁杂，增加了材料成本，因此亟需研究新工艺开发高效廉价空穴材料。由牛津大学 Henry J. Snaith 教授牵头的国际联合研究团队课题组成功实现一步法合成一系列基于苯胺的烯胺空穴传输材料（V1056、V1091 和 V1102，不同代码表示分子结构不同），其中基于 V1091 空穴的钙钛矿太阳能电池不仅获得了与 spiro-OMeTAD 空穴电池相当的效率，且展现出更加优异的稳定性和经济性。研究人员以苯胺为反应前驱体在樟脑磺酸反应试剂下与 2,2-并（4-甲氧基苯基）乙醛反应，通过调节反应试剂比例，一步法合成了一系列苯胺衍生物 V1056、V1091 和 V1102，整个反应无须金属催化剂参与，合成过程大幅简化，使得材料成本大大降低，不到 spiro-OMeTAD

⁷ Shen Wang, Zihan Huang, Xuefeng Wang, et al. Unveiling the Role of tBP-LiTFSI Complexes in Perovskite Solar Cells. *Journal of the American Chemical Society*. 2018, 140(48): 16720-16730.

空穴成本的五分之一。紫外-可见光谱测试结果显示，从图中可以看出含有二个二苯乙烯基取代的 V1056 光谱响应范围比未取代的苯胺红移约 50 nm，而含有三个二苯乙烯基取代的 V1091 也有 50 nm 的红移，这是因为通过胺缩合有效拓展了共轭长度。V1056 中苯环对位含有甲氧基集团，表现出和 spiro-OMeTAD 相似的空穴迁移率；而含有三个二苯乙烯基的 V1091 在高电场中表现出更好的空穴迁移率；在 3,5-位含有甲基的 V1102 有较差的电荷迁移率。通过密度泛函理论研究发现，V1102 苯胺中苯环与双键的二面角由 V1091 的 24.6° 增加到 58.6°，即分子的平面性变差，降低分子间的 π - π 堆积，从而导致分子间的电荷迁移率降低。随后研究人员分别以 V1056、V1091 和 V1102 三种材料为空穴组装了电池器件并测试性能，结果显示 V1102 和 V1056 分别取得 17.6% 和 18.7% 的能量转换效率，比 spiro-OMeTAD 的效率(20.2%) 略低，而 V1091 的器件获得了 20.2% 的器件效率。接着在 45% 湿度和室温环境下对未封装的 V1091 和 spiro-OMeTAD 空穴电池稳定性进行测试，前者在上述环境放置 800 小时后仍可保持初始效率值的 96%，而后者则大幅衰减至初始效率的 42%。该项研究实现了一步法制备出高效廉价的空穴材料，在保障器件高效率的基础上增加了稳定性和经济性，为钙钛矿电池其商业化应用积累了关键的技术基础。相关研究成果发表在《Advanced Materials》⁸。

(郭楷模)

空心 Co_9S_8 @ ZnIn_2S_4 异质结构笼状催化剂实现高效稳定产氢

光催化分解水能得到清洁的氢能源，是解决化石能源危机和气候变化挑战的关键途径之一。然而，当前大多数的光催化剂催化性能较低（主要是电子空穴分离和电子的传输效率较低），而金属硫化物由于其独特的电子结构和光学特性，在光催化领域展现出广阔的应用前景。新加坡南洋理工大学 David Lou 教授研究团队精心设计合成了分层级的笼状 Co_9S_8 @ ZnIn_2S_4 异质复合材料，作为光催化剂实现了超高效的催化裂解水产氢。研究人员以沸石咪唑酯骨架-67 (ZIF-67) 多面体作为前体开始，通过硫化反应和热处理，得到高质量的硫化钴 (Co_9S_8) 产物。扫描电镜和透射电镜表征显示，产物形貌呈现规则的十二面体且内部是空心结构，也即 Co_9S_8 是空心的十二面体笼。氮气脱吸附测试发现十二面体笼的表面积高达 $81 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，意味能够暴露更多的催化活性位点。随后通过溶剂热法在 Co_9S_8 笼的表面上生长一层超薄的硫铟锌 (ZnIn_2S_4) 纳米片，形成了 Co_9S_8 @ ZnIn_2S_4 分层级的笼状异质结构。选区电子衍射测试显示，笼状异质结构呈现出两套衍射环，分别对应 Co_9S_8 和 ZnIn_2S_4 。但是，两种材料接触面没有观察到明显的分界线，意味着两种材料结合较为紧密，

⁸ Deimante Vaitukaityte, Zhiping Wang, Tadas Malinauskas, et al. Efficient and Stable Perovskite Solar Cells Using Low-Cost Aniline-Based Enamine Hole-Transporting Materials. *Advanced Materials*, 2018, DOI: 10.1002/adma.201803735

而这有助于电子空穴的分离和传输。接着以三乙醇胺（TEOA）为空穴去除剂溶剂，在可见光照射（ $\lambda \geq 400\text{nm}$ ）下对不同催化剂样品（ Co_9S_8 、 ZnIn_2S_4 、空心和非空心的 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ ）的光催化裂解水产氢性能进行对比测试。通过氢气产量测定可知，单纯的 Co_9S_8 基本没有探测到氢气产出；而 ZnIn_2S_4 纳米片具有催化水分解的活性，产氢速率为 $2160 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 。上述两者结合后的 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 催化性能明显提升，其中空心笼状异质结构活性大幅提升近 3 倍，产氢效率高达 $6250 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ；非空心的 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 产氢效率为 $4650 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ，低于空心的 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 。该结果证明了空心结构对光催化反应的优势，主要原因是空心结构可以将入射光进行反复的反射捕获实现对光更高效率的利用。催化稳定性测试发现空心笼 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 可以连续稳定产氢 6 个小时，而 ZnIn_2S_4 连续产氢 3 个小时后产氢速率便大幅下降。通过时间分辨光致发光谱（TRPL）分析得知 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 载流子寿命为 5.43 ns，大于 ZnIn_2S_4 （3.88 ns）；稳态荧光光谱（PL）表明 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 可以抑制光生电荷的复合，表明 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 可以有效地促进光诱导电子和空穴的分离减少电荷复合，而这一改善特性主要来源于 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 的空心异质笼结构，一方面空心结构多次光散射/反射来增强光吸收，笼表面二维纳米片 ZnIn_2S_4 不仅可以缩短电子扩散距离，加快光生电荷的分离，还可以提供更多的催化活性位点，促进氧化还原反应。该项研究设计合成了分层级的笼状 $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ 异质复合材料，作为催化剂应用于产氢，有效促进光生电荷的分离和转移，表现出显著的析氢活性和高稳定性，为经济高效稳定催化产氢开辟了新思路。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》⁹。

（刘竞 郭楷模）

二维官能化氮化硼纳米片添加剂有效抑制锂枝晶

可充电的锂金属电池具有超高的理论比容量（3860 mAh/g），是极具发展前景的高能量密度电池。然而该电池在充放电过程中会产生大量锂枝晶，会快速降低电池的性能，甚至刺穿电极之间的隔膜，引发电池短路等安全问题。韩国首尔大学 Jong-Chan Lee 课题组研究团队首次设计合成了一种全新的全氟聚醚（PFPE）官能化的二维（2D）结构氮化硼纳米片（BNNF），并作为多功能添加剂制备了高剪切模量的凝胶聚合物电解质（GPE），有效抑制锂枝晶的生长，增强了电池性能和寿命。2D 结构的 BNNF 由于硼原子存在空的 p_z 轨道，可固定电解质中的阴离子而抑制极化，有助于抑制锂枝晶形成，但 BNNF 容易发生团聚，导致功效下降。为了抑制其团聚，研究人员利用超声辅助剥离及非共价键功能化的方法以全氟聚醚（PFPE）功

⁹ Sibow Wang, Bu Yuan Guan, Xiao Wang, et al. Formation of Hierarchical $\text{Co}_9\text{S}_8@ \text{ZnIn}_2\text{S}_4$ Heterostructured Cages as an Efficient Photocatalyst for Hydrogen Evolution. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140(45):15145-15148.

能化的芘分子对 BNNF 纳米片进行修饰形成 FBN。随后通过在玻璃板上的丙酮中简单流延浇铸凝胶聚合物电解质 PVH 和 FBN 的混合物制备复合膜 CFBN，经真空烘干得到 6-9 μm 厚的多孔复合膜 CFBN，接着浸润到 1 摩尔的双三氟甲烷黄酰胺电解质中，让电解质附着在 CFBN 复合膜上，形成复合凝胶聚合物电解质 G-CFBN。导电性测试显示，相比文献常用的偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物(PVH)和商用 LE-Celgard 聚合物电解质膜，G-CFBN 具有最优的锂离子迁移率；机械性能测试表明，G-CFBN 的杨氏模量(110 GPa)和拉伸强度(53MPa)分别为 PVH 的 4.4 倍和 3.2 倍；G-CFBN 和 LE-Celgard 的拉伸强度相差不大，但 G-CFBN 的杨氏模量是 LE-Celgard 的 70 倍，意味着 G-CFBN 具备最优的机械性能有助于抑制锂枝晶形成。最后研究人员以锂金属为负极、磷酸铁锂为正极、对比研究了 G-CFBN、不含 FBN 的 PVH 基 GPE(G-PVH) 以及 LE-Celgard 间性能的差异。相比 G-PVH、LE-Celgard 隔膜电池，G-CFBN 隔膜电池展现出更加优异的高倍率性能，特别是在高于 5C 倍率以后，主要归因于 G-CFBN 高的离子导电率和锂离子迁移率。循环稳定性表征显示，在 1C 倍率下循环 300 次后，基于 G-FCBN 隔膜的电池容量保持率高达 88%，而基于 LE-Celgard 隔膜电池仅能维持初始容量的 74%；但进一步提升充放电倍率到 10C 时，G-CFBN 电池依旧可以稳定循环 500 余次。将循环后的电池进行拆解观察，G-CFBN 电池的锂金属电极表面依旧光滑，相反 LE-Celgard 隔膜电池锂金属电极表面呈现出大裂纹和粗糙针孔，即 G-CFBN 电池的锂枝晶很好得到了抑制。该项研究研发了一种官能化的 BNNF 纳米片并作为添加剂引入到 GPE 中，增强了 GPE 的导电性、锂离子迁移率和机械强度，从而有效抑制锂枝晶生长增强了电池的性能和寿命，为解决锂枝晶问题和改进锂金属电池性能提供了一种新的策略。相关研究工作发表在《*Energy & Environmental Science*》¹⁰。

(郭楷模)

¹⁰ Jimin Shim, Hee Joong Kim, Byoung Gak Kim, et al. 2D boron nitride nanoflakes as a multifunctional additive in gel polymer electrolytes for safe, long cycle life and highrate lithium metal batteries. *Energy & Environmental Science*, 2018, DOI:10.1039/c7ee01095h

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

