

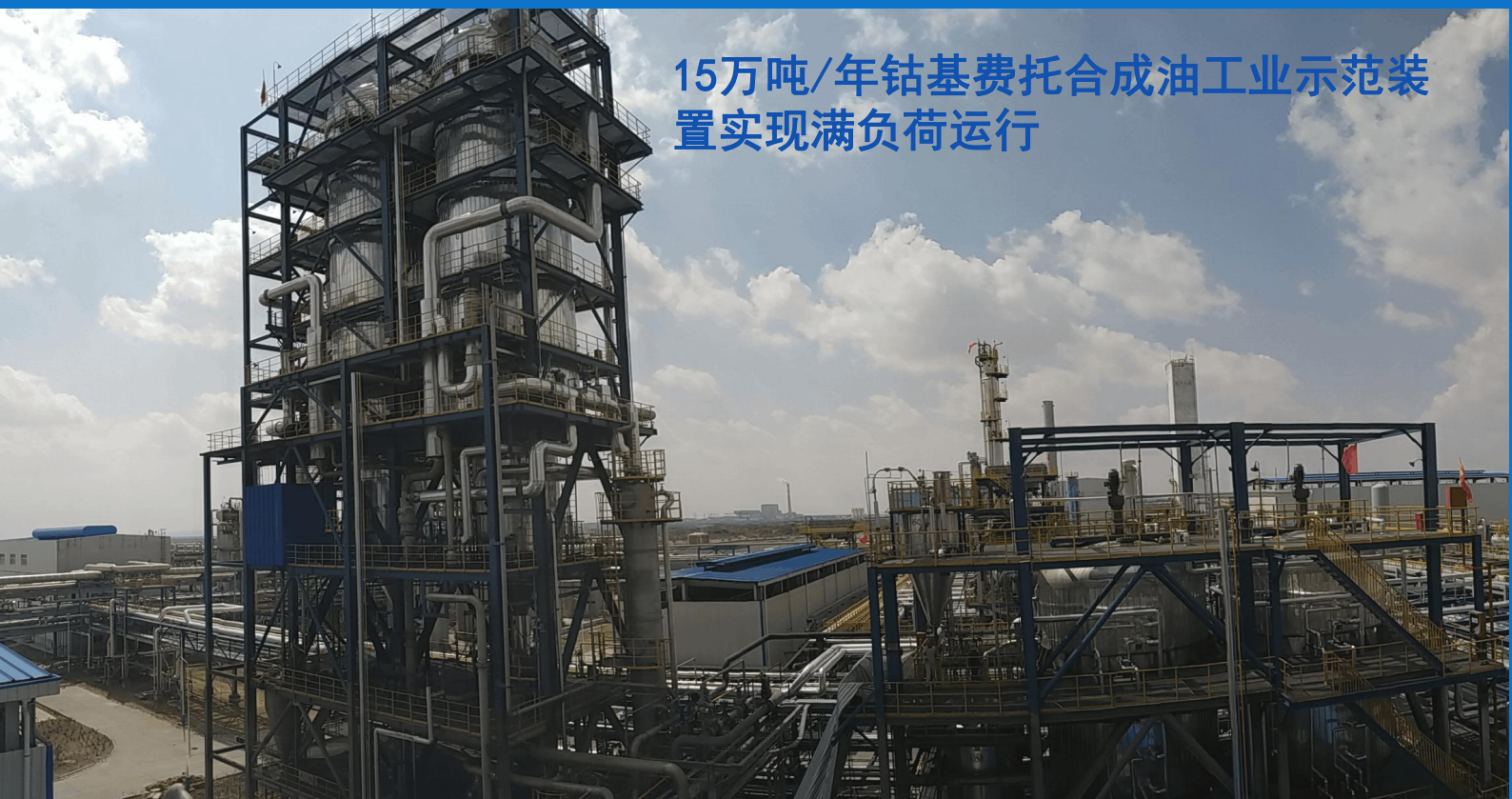
中国科学院A类战略性先导科技专项

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

2020年第2期（总第8期）



15万吨/年钴基费托合成油工业示范装置实现满负荷运行

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

专项研发进展

- 15万吨/年钴基费托合成油示范装置实现满负荷运行并完成72小时考核标定.....1
- 黄帝城小镇太阳能集热场工程开工建设.....2
- 燃煤水泥窑炉低NO_x燃烧关键技术示范工程调试取得进展.....3
- 新一代低成本、高功率密度可焊接全钒液流电池电堆研发成功....4
- 国际首台100MW先进压缩空气储能系统膨胀机研制成功.....5
- 中科院青能所揭示新型无钴正极在高电压下的充放电机理.....6
- 新一代直接蒸发高效冰浆机组研制取得阶段进展.....7
- 钠离子电池技术荣获中国科学院北京分院科技成果转化特等奖....8

专项过程管理

- 洁净能源先导专项完成财政部组织的绩效评价.....10
- 洁净能源专项完成2020年预算评审工作.....12
- 洁净能源专项完成2020年度新增任务征集及遴选工作.....13
- 专项办组织到“100MW级全钒液流电池关键技术及应用示范”等5个示范工程建设现场实地考察.....14

国内视点

- 新型异质结质子传导材料将燃料电池质子迁移率提升百倍.....15
- 新型电子传输层助力室内光源辐照有机太阳能电池效率超30%.....17

清华大学：二维材料廉价矿物电催化剂大电流产氢制备速率提升 1~2个数量级.....	19
国家能源局《2020年能源工作指导意见》要点解读.....	21

国际瞭望

逐步光沉积制备复合催化剂实现催化全解水量子产率纪录.....	25
IEA：全球氢能发展机遇前所未有 亟需加快发展低碳氢技术.....	27
欧盟发布能源系统集成战略和氢能战略推进气候中性欧洲.....	32
欧洲电池技术创新平台提出2021-2023年研发创新优先事项.....	39
美国能源部发布“储能大挑战”路线图草案	45

专项研发进展

15 万吨/年钴基费托合成油示范装置实现满负荷运行并完成 72 小时考核标定

2020 年 6 月 22 日，榆横醋酸项目资源综合利用制油工业示范装置经消缺整改后，在延长石油榆林煤化公司投料试车成功，8 月 8 日至 11 日，完成了中国石油和化工联合会组织的 72 小时考核标定。该技术采用大连化物所开发的炭载钴基浆态床煤制油技术。



专家组一致认为，该装置是全球首套具有自主知识产权的炭载钴基浆态床合成气制油工业示范装置，现已实现达产达效，其成功运行将为后续大型商业化装置的建设提供坚实的技术支撑。专家们建议进一步优化工艺和操作条件，加快研究费托合成产品的高附加值综合利用技术，尽快推进大型商业化项目的实施。

该项目由大连化物所与延长石油榆林煤化有限公司和北京石油化工工程有限公司共同承担。示范装置于 2013 年开工建设，2017 年实现 40% 负荷运行，打通全流程，产出合格的稳定轻烃、费托轻蜡和费托重蜡等产品。2019 年实现 85% 负荷运行，2020 年 7 月实现 100%

负荷运行。大连化物所研发的炭载钴基催化剂具有优异的活性、柴油馏分选择性和稳定性。与铁基催化剂相比，本项目采用的炭载钴基催化剂具有极低的 CO_2 选择性，可显著降低费托合成单元的运行能耗，省去脱碳单元，废催化剂经简易焚烧处理后可回收金属钴，可实现低固废甚至无固废的绿色环保目标。装置的成功运行，为我国煤炭高效转化制清洁燃料和高值化学品提供了原创技术和解决方案，标志着我国在煤炭资源综合洁净利用领域上了一个新台阶。

[中国科学院大连化学物理研究所 朱何俊、赵子昂]

黄帝城小镇太阳能集热场工程开工建设

7月25日，电工研究所与达华集团在张家口黄帝城小镇举行了太阳能集热场工程的开工仪式。

集热场工程的开工建设，标志着张家口黄帝城小镇太阳能集热储热示范工程正式进入工程建设阶段，

预计年底实现第一阶段供热。跨季节集热储热示范工程建成后，年储热效率将超过 80%，单体成本由国际水平的 300 元/ m^3 降低至 200 元/ m^3 。将为我国北方地区提供成套可复制、可推广的高效、高可靠、低成本太阳能区域供热技术。



[中国科学院电工研究所 原郭丰，王志峰]

燃煤水泥窑炉低 NO_x 燃烧关键技术示范工程调试取得进展

2020年6月14日至6月28日，中国科学院工程热物理研究所循环流化床实验室水泥窑炉研发团队对宁夏胜金2500t/d水泥窑炉低NO_x燃烧关键技术示范工程进行了热态调试。经第三方测试显示，水泥窑炉氮氧化物（NO_x）排放从380 mg/m³降至98 mg/m³，NO_x减排效果显著。

水泥窑炉的氮氧化物排放一直居高不下，随着我国大气污染问题的突显，要求水泥行业超低排放和洁净生产的呼声也日益高涨，多个省市和地区出台了水泥窑炉氮氧化物特别排放限值实施计划。面对严苛的排放标准，现有脱硝技术很难兼顾效率、环保和成本，该研发团队自主研发的水泥窑炉低NO_x燃烧关键技术是提高减排效率、降低环保成本上具有明显优势。该技术在实现高脱硝效率的同时不仅大幅降低喷氨量，还可实现无氨运行，从而有效解决氨水逃逸带来的二次污染问题；采用该技术对水泥现有工艺改动少，具有显著的成本优势且容易实施。

研发团队下一阶段将以示范工程长期稳定运行为目标，优化运行参数，进一步开展技术评价和应用推广。



[中国科学院工程热物理研究所 任强强、蔡军]

新一代低成本、高功率密度可焊接全钒液流 电池电堆研发成功

2020年6月，大连化物所储能技术研究团队成功开发出新一代30 kW级低成本、高功率密度全钒液流电池电堆。该电堆采用研究团队自主研发的可焊接多孔离子传导膜，该膜成本低于100 RMB/m²，不足商业化Nafion膜成本的10%。相对于传统的电池组装技术，膜材料实际使用面积减少30%。在新一代电堆的组装工艺中，研究团队打破了传统的组装方式，首次将激光焊接技术应用于电堆组装工艺中，大大提高了电堆的可靠性，同时也提高了电堆装配的自动化程度，减少了密封材料的使用，电堆总成本降低了40%。新一代电堆的成功研发，将大幅度降低全钒液流电池系统的成本，推动全钒液流电池的产业化应用。



大连化物所多年来一直坚持“产、学、研、用”的创新开发模式，结合国家对储能技术的重大需求，在全钒液流电池高性能、低成本关键材料，电堆技术及批量化生产，大规模储能系统设计集成等方面取

得了一系列技术突破，并与大连融科储能技术发展有限公司合作完成了多项商业化示范工程，其中全球首套 100 MW/400 MWh 全钒液流电池储能系统项目正处于全面建设中。

[中国科学院大连化学物理研究所 史丁秦]

国际首台 100MW 先进压缩空气储能系统膨胀机研制成功

在中科院战略性先导专项（A 类）支持下，中国科学院工程热物理所 100MW 先进压缩空气储能技术研发取得重大进展，完成了国际首台 100MW 系统的膨胀机研制。

膨胀机是先进压缩空气储能系统的关键核心部件，具有负荷高、流量大、流动传热耦合复杂、变工况调控难度大等技术难点。经过不懈努力，研发团队攻克了 100MW 多级膨胀机全三维设计、复杂轴系结构、变工况调节与控制等关键技术，并于 2020 年 6 月 30 日，完成了膨胀机关键部件加工、整机集成与性能测试，各项测试结果全部达到或超过设计指标。

100MW 膨胀机具有集成度高、效率高及寿命长等优点，其成功研制，是我国压缩空气储能领域的重要里程碑，推动了我国压缩空气储能技术迈向新的台阶。



国际首台 100MW 先进压缩空气储能系统膨胀机

[中国科学院工程热物理所 陈海生]

中科院青能所揭示新型无钴正极在高电压下的充放电机理

正极材料作为电池的重要组成部分，Co、Ni 作为战略资源，价格昂贵，存量稀缺，因此探索不含 Co、Ni 的高容量正极材料是当前研究的热点和趋势， V_2O_5 是一种常见的过渡金属氧化物无锂正极材料，具有低成本、易合成、高比容量等优点，但是 V_2O_5 的电子电导率和离子传输速率都不高，循环稳定性也不够理想。

中科院青岛能源所商业五氧化二钒为原料，采用溶剂热法并通过添加表面活性剂、改变反应溶剂对二氧化钒进行形貌调控，制备了 $VO_2(D)$ 纳米颗粒、 $VO_2(D)$ 纳米空心球（图 1）。将添加 7% 还原氧化石墨烯(rGO)的 $VO_2(D)$ 空心球作为正极材料组装锂离子电池，在 50 mA g^{-1} 电流密度下， $3.8\text{-}4.25 \text{ V}$ 之间进行 5 次充放电循环活化(图 2a)。随后将活化后的电池在 $3.8 \text{ V}\text{-}4.8 \text{ V}$ 之间进行循环(图 2b)，在 10 次循环中比容量保持在 110 mAh g^{-1} 左右，没有发生明显衰减。 $VO_2(D)$ 在 $1.5 \text{ V}\text{-}4.8 \text{ V}$ 循环时，第二次放电 4.4 V 附近的高电压容量就会消失；而在 $3.8 \text{ V}\text{-}4.8 \text{ V}$ 电压范围内循环，此高电压容量保持较好。这可能是由于放电过程中随着锂离子的不断嵌入，当超过某一限度时(放电电压低于 3.5 V)，导致了 $VO_x(PF_y)_z$ 结构的破坏，因此在后续的循环过程中， 4.4 V 附近的高电压部分容量消失。

结合 XRD、XPS 等表征手段对此进行分析，进一步探究了 $VO_2(D)$ 在高电压区间($3.8 \text{ V}\text{-}4.8 \text{ V}$)的电化学性能，推测 $VO_2(D)$ 在含有 PF_6^- 离子的电解液中可能发生原位反应生成 $VO_x(PF_y)_z$ 结构。由于 $VO_x(PF_y)_z$ 的存在并且其氧化还原电位更高，所以材料在高电压区间

展现了容量。

上述 VO₂(D)的研究可拓展至其他过渡金属氧化物无钴无锂正极材料，为无钴无锂正极材料的高电压性能研究提供了科学指导。

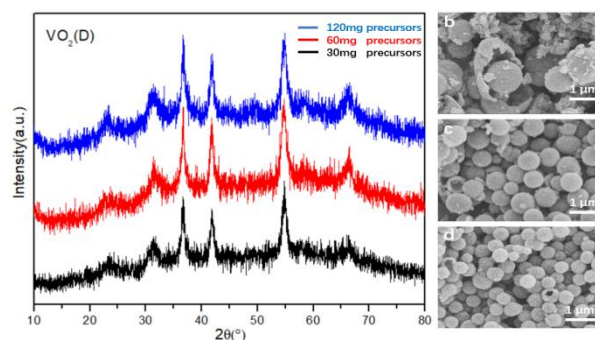


图 1 VO₂(D)空心球的 XRD 谱图和形貌结构

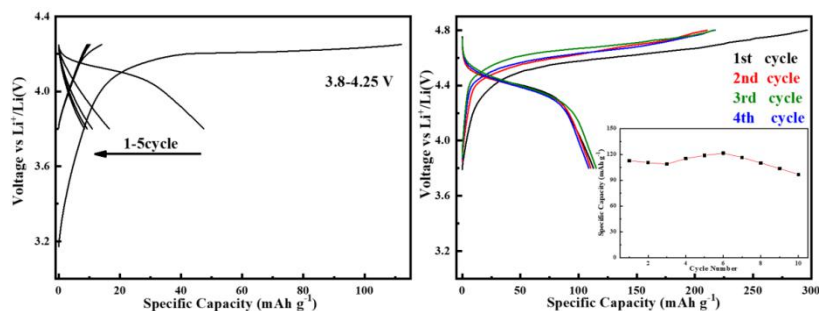


图 2 rGO-VO₂(D)的电化学性能，a，在 3.8 V-4.25 V 下电化学活化；b，活化后在 3.8 V-4.8 V 下的充放电曲线。

[中国科学院青岛能源所 吴天元]

新一代直接蒸发高效冰浆机组研制取得阶段进展

新一代冰浆技术是在原有的中间换热技术基础上，取消不冻液中间循环，通过新型换热器，使制冷剂与水直接进行热交换，进而减少换热损失、降低泵功损耗，实现系统能效的大幅提升。

研发团队通过开展直接蒸发过冷却冰浆换热器研发、运行控制技术优化等系列工作，成功研制出实验室规模的 10kW 直接蒸发冰浆机组，实现了稳定连续运行。该机组的成功运行，为后续大型机组的参数设计、控制策略及标准化定型奠定了坚实基础。



10kW 直接蒸发冰浆机组运行实现温度制冰运行

冰浆蓄冷是重要的用户侧储能调峰技术。我国商业/工业空调用电负荷约占城市高峰用电的 40%以上，中央空调的巨大规模和迫切的调峰需求使蓄冷技术成为目前为止推广最多的高效储能技术之一。

[中国科学院广州能源所 宋文吉]

钠离子电池技术荣获中国科学院北京分院科技成果转化特等奖

根据《关于开展第九届中国科学院科技成果在北京转化先进团队评选工作的通知》和《中关村管委会、中国科学院北京分院关于推动中国科学院科技成果在京转化的奖励办法》精神，经中国科学院北京分院与中关村科技园区管理委员会的联合评审，中国科



学院物理研究所钠离子电池技术项目荣获 2019 年度科技成果转化特等奖！

“钠离子电池技术”研究团队自 2011 年起致力于安全环保、低成本、高性能钠离子电池技术的研发，经过近十年的持续研发，在钠离子电池正负极材料、电解液等方向取得突破，核心专利获得中国、美国、日本及欧盟等授权。依托物理所核心技术成立了国内首家专注于钠离子电池产业化的中科海钠科技有限责任公司，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，推动钠离子电池技术产业化进程，抢占我国率先实现钠离子电池技术产业化的技术前沿，提升我国在储能技术领域的国际竞争力。

钠离子电池储能技术目前已经建立了百吨级的正、负极材料生产线，开发出能量密度为 120Wh/kg，循环寿命达 2000 周的钠离子电芯，建成了 MWh 级产能的电芯生产线，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，并于 2019 年建成了世界首座 100kWh 钠离子电池储能电站，首次实现了在大规模储能上的示范应用。计划于 2021 年推出 1MWh 钠离子电池储能系统，并积极探索钠离子电池在通讯基站、数据中心后备电源、家庭/工业储能和可再生能源大规模接入等多种储能领域的应用。

[中国科学院物理研究所 陆雅翔]

专项过程管理

洁净能源先导专项完成财政部组织的绩效评价

为加强财政专项绩效管理，提高财政资金使用效益，2020年3月-6月，财政部预算评审中心组织专家和第三方机构成立绩效评价工作组，对洁净能源专项开展了绩效评价。工作组对洁净能源专项立项论证、过程管理、任务产出效益和资金执行情况进行了审核。4月份，对专项提交的评价材料进行审核；5月份，对专项核心骨干及合作企业进行问卷调研，并对专项任务进行现场考察；6月11日，向专项反馈了《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”绩效评价报告》及《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”绩效评价指标体系及评价得分情况表》。

此次绩效评价，洁净能源专项得分为87.5分，综合绩效评价级别为“良”。在绩效评价过程中，财政部预算评审中心肯定了洁净能源专项三条主线“化石能源清洁高效利用与耦合替代”、“清洁能源多能互补与规模应用”、“低碳化多能战略融合”的发展思路，对两年来在甲醇制烯烃、煤制乙醇、合成气制高碳醇、全钒液流储能、先进压缩空气储能、低能耗电解水制氢和二氧化碳加氢制甲醇等方面初步实现的关键技术突破，部分重点项目开展的大规模工业示范给予充分认可，特别对通过先导专项推动了区域示范的工作给予赞赏，同时指出了影响资金效益的存在问题：“专项年度考核指标管理不够严谨，目标与预算动态调整的同步性有待提升；专项监理机制的作用未能充分发挥，监理有效性有待加强；个别项目研究内容面临技术放大可行性、推广应用成本等风险，产业应用前景尚不明朗；专项层面未建立成果

宣传推介平台，社会资本参与产业转化的渠道待拓宽”，并提出了四条建议：“建立完善灵活有效的动态调整机制；发挥监理在专项组织实施与过程管理中的作用；结合政策导向与市场需求聚焦重点任务，以集中示范降低产业应用风险；引导企业、地方政府等社会优势力量参与，探索可复制、可推广的科技成果产业转化模式和经验”。

专项高度重视绩效评价整改工作，多次召开会议统一思想、及时部署，针对绩效评价中已发现的扣分项，逐条梳理落实责任主体和问题原因，并提出整改举措。7月2日，专门组织召开了洁净能源专项管理专题会议，专项各项目承担单位法人代表、项目负责人、监理部分别表态全面落实专项任务自查整改。针对绩效评价出现的问题，举一反三，通过管理归零，找到问题根源，明确责任主体，确保自查整改彻底、全面。

专项办根据院领导及专项总体组的要求，形成了六条整改举措：
（1）进一步强化专项各级任务管理力量，明确各级任务责任；（2）进一步对专项任务进行分类管理，聚焦资源“保重点、保关键、保急需”；（3）进一步深入任务实施单元、了解进展，积极推进专项进程；（4）进一步梳理明确专项任务调整原则和程序，规范专项管理；（5）进一步加快开发专项信息化管理平台，支撑专项信息化管理和数据共享；（6）针对绩效评价发现的问题及中期检查要求，举一反三全面自查整改，确保整改工作全面彻底。目前已行文上报重大任务局，专项办正在按照整改举措往前推进。

[中国科学院大连化学物理研究所 张宇 王春]

洁净能源专项完成 2020 年预算评审工作

根据专项工作安排，为了保证专项 2020 年预算书签署及报送工作的顺利完成，专项办组织各项目、课题、子课题承担单位严格按照专项经费管理要求，根据《中国科学院战略性先导科技专项管理办法》（科发规字[2017]106 号文）中经费开支范围的有关规定对预算进行了评审。

专项办在本次预算编制期间，按照院条财局“关于进一步优化战略性先导科技专项经费管理的通知”精神，要求各试点单位课题负责人在确保科研目标完成的前提下，统筹考虑 2020 年预算执行的实际情况进行编报，在直接经费中按照不超过直接费用的 20%编制科研人员绩效奖励预算。

由于受疫情影响，2020 年度预算评审工作以电子形式进行，共邀请了包括专项财务责任专家在内共 8 位院内财务专家对专项 9 个项目中的 55 个课题、53 个子课题报审的预算进行了评审，共形成了 1 份专项预算审核意见及 9 份项目预算审核意见。

根据专项财务责任专家的评审意见及最终审定的专项预算，专项办组织全体项目、课题及子课题承担单位按照院里要求的时间顺利完成了整个专项 2020 年预算书的填报工作。

[中国科学院大连化学物理研究所 马政楠]

洁净能源专项完成 2020 年度新增任务征集及遴选工作

根据专项工作安排，洁净能源专项于 2020 年 3 月-5 月份开展了 2020 年度任务征集及遴选工作。此次遴选过程分建议书征集、专家函评、立项建议会评、实施方案论证、经费概预算评审等环节，经专项总体组讨论确定后，将立项建议上报院重任局审批。

专项办此次面向院属单位共征集了 98 个立项建议，结合国家能源局发布的《关于补强能源技术装备短板的实施意见》（以下简称《实施意见》）需求，并严格按照“目标清、可考核、用得上、有影响”的原则组织评审。

4 月 23 日，专项总体组对进入会评的 25 个任务进行评审；4 月 28 日，专项特别邀请国家能源局科技司张彦文处长对《关于补强能源技术装备短板的实施意见》进行了解读，并对照实施意见的短板技术和装备清单进行了逐条梳理，讨论了该院有基础、有望解决国家需求的相关技术。5 月 6 日-9 日，分别由吕清刚、曹宏斌牵头组织论证了煤化工固废及废水处理方向，由魏伟牵头组织论证了高端润滑油方向，由叶茂、张香平牵头组织论证了分子炼油方向，由陈海生牵头组织论证了风能方向。5 月 11 日，重大科技任务局与专项总体组对被列为能源技术装备短板清单的立项建议进行了评审。5 月 23-31 日，各项目分别组织完成新增任务实施方案论证。

根据疫情防控要求，整个论证评审过程均采用线上方式进行。经专项总体组讨论决定及重大任务局审批，此次共支持“煤化工废水资源化利用关键技术研究”等 17 个任务，并按照要求完成任务书签订。

[中国科学院大连化学物理研究所 王春]

专项办组织到“100MW 级全钒液流电池关键技术及应用示范”等 5 个示范工程建设现场实地考察

根据专项总体工作安排，专项办于 5 月-6 月先后组织总体组专家、项目负责人等到专项支持的 5 个任务的示范工程建设现场实地考察。具体考察情况如下：

序号	项目	任务名称	单位	负责人	地点	调研时间	参加人员
1	七	100MW 级全钒液流电池关键技术及应用示范	大化所	李先锋	辽宁大连	5 月 28 日	李先锋、肖宇、张宇
2	二	煤基合成气直接转化制烯烃	大化所	潘秀莲	陕西榆林	6 月 29 日	刘中民、王建国、肖宇、张宇、丁云杰等
3	二	合成气制混合醇联产柴油万吨/年级工业示范	大化所	丁云杰	陕西榆林	6 月 30 日	王建国、张宇
4	二	钴基费托合成关键技术与工业示范	大化所	朱何俊	陕西榆林	6 月 30 日	王建国、张宇
5	三	50 万吨/年甲醇制乙醇工业示范	大化所	朱文良	陕西榆林	6 月 30 日	王建国、张宇

专项总体组责任专家、项目负责人及专项办等通过实地考察，并与任务合作企业深入交流发现，有关任务都取得不同程度的进展，合作企业对相关技术给予高度认可，并明确表态与任务承担单位大连化物所齐心协力，全力推进专项任务的实施。专项办还将继续组织专家到专项其他示范工程类任务建设现场实地考察。

[中国科学院大连化学物理研究所 王春]

国内视点

新型异质结质子传导材料将燃料电池质子迁移率提升百倍

质子陶瓷燃料电池理论发电效率高达 75%，且能够在较低的温度（350-600℃）高效运行，还拥有更优异的抗积碳和抗硫中毒特性，是极具发展前景的新一代燃料电池技术。然而由于常规的电解质质子传输效率较低，限制了质子陶瓷燃料电池性能，因此亟需开发高性能的质子传输材料。

由中国地质大学（武汉）宋怀兵团队和东南大学朱斌团队、湖北大学黄敏团队合作设计构造半导体异质结的电解质材料，得益于半导体异质结界面电场诱导金属态，构造出了具有低迁移势垒的质子超高速传输通道，相比传统的电解质其质子传输效率大幅提升了 3 个数量级，进而显著提升了电池器件性能，展现出了工业化应用潜力。相关研究表明，在传统质子传导材料里，质子需要克服巨大的能垒，通过氧空位跳跃前行，这使得众多的电解质材料的

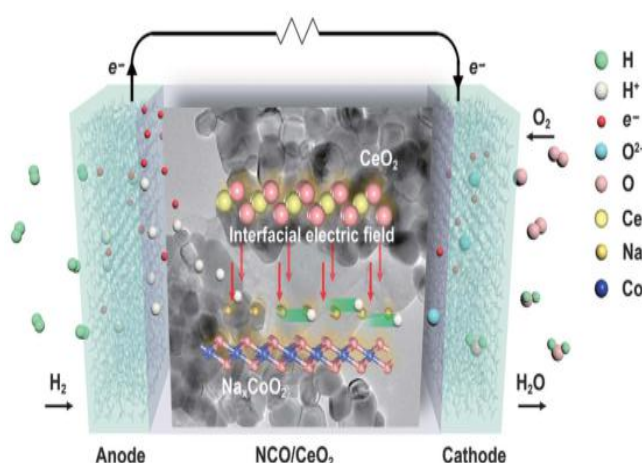


图 1 基于异质结 NCO/ CeO₂ 质子传导材料的燃料电池结构示意图

质子传输效率较低限制了质子陶瓷燃料电池性能。为此，研究人员采用了不同于传统离子导体（也即电解质）掺杂改性的方法，而是构建半导体材料的异质结构，即由 P 型半导体钴钠复合氧化物（ Na_xCoO_2 ，NCO）和 N 型半导体氧化铈（ CeO_2 ）构成的异质结 NCO/ CeO_2 ，旨在通过利用半导体异质界面电子态/金属态特性把质子局域于异质界面，设计和构造具有低迁移势垒的质子超高速传输通道。为了证实上

述方法的可行性,研究人员首先通过第一性原理进行了理论模拟研究发现,相比单一的 NCO 或 CeO₂ 离子导体材料, NCO/ CeO₂ 异质结的质子结合能显著降低,也即质子传输的能垒降低,这有助于了加速质子的传输。质子导电率测试显示, NCO/ CeO₂ 异质结的质子迁移率达到了 0.2-0.3 S/cm,相比传统掺杂的离子导体(质子迁移率一般为 0.001 S/cm)提升了近 3 个数量级。随后研究人员利用上述的异质结离子导体材料组装成质子陶瓷燃料电池并进行电化学测试,实验结果显示在 520℃ 工作温度下, 电池开路电压为 1.07 V, 输出功率密度 1000 mW/cm², 高于了目前报道的性能最优的掺杂改性离子导体材料器件(钇稳定二氧化锆<YSZ>, 输出功率密度为 890 mW/cm²); 且可以在 100 mA/cm² 电流密度下连续稳定性运行 100 余小时。通过微观表征显示电池性能增强主要是归因于异质结界面局域电场,即在燃料电池中质子经电化学反应嵌入到异质材料界面,被带正电的 CeO₂ 表面排斥到 NCO 表面,但同时受到带正电 Na⁺的排挤不能进入 NCO 内部,因而局域于两者材料的界面空间,从而实现在低势垒的层间连续快速迁移。

该项研究设计开发了全新的异质结质子导体材料,受益于异质界面的局域电场诱导的质子快速传输通道,其质子传导效率相比传统的掺杂改性工艺提升了 3 个数量级,从而显著提升了质子陶瓷燃料电池的性能,呈现出优异发电性能,推进了该类电池技术的商业化进程。相关研究成果 7 月 10 日发表在《*Science*》¹。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

¹ Y. Wu¹, B. Zhu, M Huang, et al. Proton transport enabled by a field-induced metallic state in a semiconductor heterostructure. *Science*, 2020, 369, 184-188. DOI: 10.1126/science.aaz9139

新型电子传输层助力室内光源辐照有机太阳电池

效率超 30%

有机太阳电池具有材料来源广泛、价格低廉、重量轻等优点，最关键的是其具有优异的机械柔韧性，拥有比传统硬基底太阳电池更加广阔的应用前景（如各类不规则几何形状的可穿戴设备、柔性电子设备），成为光伏技术领域研究的热点之一。尤其在当下，各类室内的物联网电子设备蓬勃发展，亟需开发出能够高效将室内光源高效转化为电力的有机光伏器件。由香港科技大学 He Yan 教授带领的研究团队设计制备了目前具有最高的占据分子轨道（HOMO）水平的窄禁带电子传输层（ETL）应用于非富勒烯有机太阳电池，有效地减少了器件的漏电流和载流子复合，从而显著提升电池性能，在室内光源辐照下获得了高达 31% 的转换效率。

研究人员首先制备了 400-700 nm 之间具备良好光吸收特性的体异质结块体共混物活性层；上述光谱恰好是室内 LED 光源发射光谱的主要区间。接着研究人员制备了具有不同 HOMO 的两种不同带隙宽度的 ETL 材料，分别为 PDI-NO 和 PFN，前者的 HOMO 为 -6.21 eV，后者的

HOMO 为 -5.61 eV，即 PDI-NO 具有更深的 HOMO。随后分别以上述两种 ETL 组装两种有机光伏器件并测试电压电流性能。实验发现，

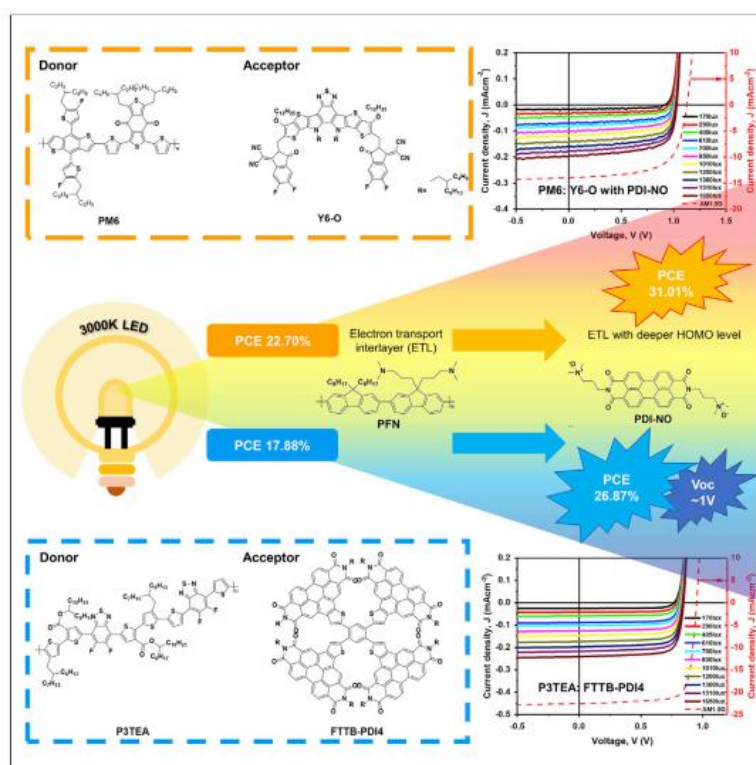


图 1 ETL 材料结构及室内光源辐照实验示意图

在 1 个标准的模拟太阳光辐照下，两种电池器件的转换效率基本一样，都在 16% 左右。接着将上述两种器件移至室内并辅以 LED 光源照射（光强度在 1000-1750 勒克斯，为市面销售 LED 灯光强度范围），实验结果显示，在 1650 勒克斯的光强度下基于 PDI-NO 的 ETL 电池器件的转换效率突破了 30%，达到了惊人的 31%；相反，采用 PFN 的 ETL 电池器件转换效率仅为 22.5%。上述结果与在标准模拟光源下的实验结果具备了强烈的反差，为此研究人员进一步采用暗电流和阻抗谱等表征手段研究出现上述实验现象的潜在原因。实验发现，在室内 LED 光源辐照下，基于 PFN 的电池器件具备了更高的暗电流密度和更低的并联阻抗，意味该电池器件存在显著的漏电流；相反，PDI-NO 器件的漏电流等到了显著抑制。上述差别在 1 个标准模拟太阳光辐照下，不会对器件性能引起显著影响，因为入射光强度远远强于这种负面的漏电流作用（光电流通常是漏电流的 1000 倍以上）。然而在室内 LED 辐照下，由于入射光强度显著下降，产生的光生载流子数量随之出现指数级下降（即光生电流出现指数级下降），此时漏电流的影响变得显著。此外，阻抗谱表征结果显示，PDI-NO 器件载流子的复合显著少于 PFN 的电池器件。得益上述两个方面的改善，从而使得室内光照环境下基于 PDI-NO 电池器件性能得到了有效改善。

该项研究设计开发了新型的电子传输层，应用于有机太阳能电池，有效地抑制了电池漏电流和载流子复合，进而提升了电池性能，使得电池器件在室内光源辐照下获得了超过 30% 的性能，为日益增长的物联网电子设备市场高性能电源设计开发提供了全新的路径。相关研究成果发表在《*Joule*》²。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

² Lik-Kuen Ma, Jie Zhang, Zhen Li, et al. High-Efficiency Indoor Organic Photovoltaics with a Band-Aligned Interlayer. *Joule*, 2020. DOI: 10.1016/j.joule.2020.05.010

清华大学：二维材料廉价矿物电催化剂大电流产氢制备速率提升 1~2 个数量级

利用电解水方法制备氢气是可再生能源转化和可持续发展的有效策略之一，但影响商业化的最大问题是高能耗与高成本。铂基催化剂是公认最有效的电解水产氢催化剂，然而铂的低储量导致成本高昂，开发高效和廉价的大电流产氢电催化剂以及其规模制备方法，成为发展工业化电解水产氢技术的重要研究方向。

清华-伯克利深圳学院刘碧录、成会明团队基于研究团队前期对二维材料规模制备(National Science Review, 2020, 7, 324)及大电流密度电解水产氢催化剂设计(Nature Communications, 2019, 10, 269)的工作基础，进一步提出大流量、可放大规模化制备二维材料大电流产氢电催化剂的方法。所制备的二硫化钼基电催化剂在驱动 1000mAcm^{-2} 的电流密度时所需过电压仅为 412mV ($0.5\text{ M H}_2\text{SO}_4$ 的酸性体系中) 与 440mV (1.0 M KOH 的碱性体系中)。此外，该催化剂在大电流密度下具有良好的稳定性，表现出优异的电解水性能。为进一步验证并推广该制备策略，团队采用低成本钼矿自然资源为原料制备电催化剂，测试表明所制备的矿物基电催化剂具有良好的电催化性能以及放大生产能力，其中所用的钼矿成本仅为铂价格的十万分之一，有望推动该低成本高性能电催化剂的工业化应用。研究显示，该制备方法是目前最为高效的二维材料电催化剂制备方法，其制备速率优于已报道结果 1~2 个数量级，所得电催化剂是目前大电流密度下性能最佳的催化剂之一，相关策略还有望进一步拓展至其他材料及反应体系中。

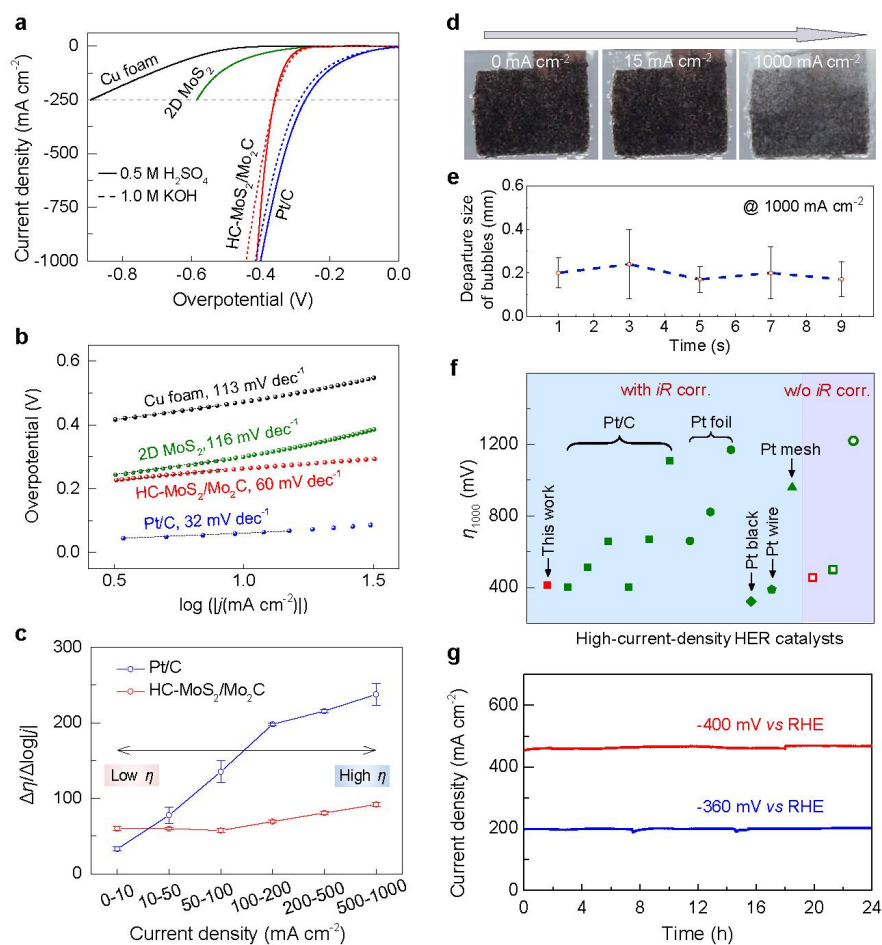


图 1 大电流密度下二维二硫化钼电解水产氢性能

该项研究开发了一种高通量制备二维二硫化钼（ MoS_2 ）浆液电催化剂的方法，所制备的催化剂具有良好的电解水产氢活性，在 1Acm^{-2} 的大电流密度下所需过电压仅为 412mV ，并呈现出良好的稳定性。同时，该方法可以拓展至以低成本矿物自然资源为原料来制备电催化剂，是目前已报道制备速率最快、成本最低的方法之一。该项工作对二维材料的工业应用以及低成本大储量矿石等自然资源的高附加值应用开发具有较大指导意义。相关研究成果 7 月 24 日发表在《*Nature Communications*》³。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据清华大学新闻编辑]

文章来源: <https://news.tsinghua.edu.cn/info/1007/80746.htm>

³ Zhang, C., Luo, Y., Tan, J. et al. High-throughput production of cheap mineral-based two-dimensional electrocatalysts for high-current-density hydrogen evolution. *Nat Commun* 11, 3724 (2020). DOI: doi.org/10.1038/s41467-020-17121-8

国家能源局《2020年能源工作指导意见》要点解读

6月22日，国家能源局发布《2020年能源工作指导意见》⁴（以下简称《意见》），明确了我国2020年能源的主要预期目标，并从能源安全供应、清洁低碳发展、高质量发展等维度提出了具体要求和举措。意见指出，全面落实党中央、国务院的决策部署，扎实做好“六稳”工作，落实好“六保”任务，在常态化疫情防控中做好能源发展改革工作，保障能源安全，推动能源高质量发展。和2016-2018年连续将推进能源供给侧结构性改革作为指导思想内容不同，2020年《意见》的指导思想明确要保持能源产业链和供应链稳定，突出能源安全底线保障，这是今年发展的特殊形势下，国家能源主管部门对行业的主要任务和努力方向的指导。

一、2020年主要预期目标

能源消费。全国能源消费总量不超过50亿吨标准煤。煤炭消费比重下降到57.5%左右

供应保障。石油产量约1.93亿吨，天然气产量约1810亿立方米，非化石能源发电装机达到9亿千瓦左右。

质量效率。能源系统效率和风电、光伏发电等清洁能源利用率进一步提高。西部地区具备条件的煤电机组年底前完成超低排放改造。

惠民利民。新增清洁取暖面积15亿平方米左右，新增电能替代电量1500亿千瓦时左右，电能占终端能源消费比重达到27%左右。光伏扶贫等能源扶贫工程持续推进，完成“三区三州”和抵边村寨农网改造升级。

改革创新。深入推进电力现货市场连续结算试运行，具备条件的地区正式运行。电网主辅分离改革进一步深化。完善油气勘查开采管理体制，健全油气管网运营机制。能源革命试点深入推进。稳妥有序推进能源关键技术装备攻关，推动储能、氢能技术进步与产业发展。

⁴ 国家能源局关于印发《2020年能源工作指导意见》的通知。
http://www.nea.gov.cn/2020-06/22/c_139158412.htm

二、重点工作

1、做好疫情防控能源供应保障

《意见》将疫情防控的能源供应保障作为首要工作，要求从“抓紧抓实抓细保供措施、密切跟踪供需形势变化、压实保供和安全生产责任”三方面做好能源保障工作，要建立健全重点突出、涵盖全国、运转高效的能源供给保障体系，完善能源统计、信息共享、分析会商等工作机制，密切关注境外疫情对我国的影响，早做预案，同时严格落实能源保供属地责任，保障可供能源资源充足稳定。

2、增强油气安全保障能力

油气安全保障是能源安全的重中之重，《意见》要求从“加大油气勘探开发力度、加快天然气产供储销体系建设、增强油气替代能力”三方面增强油气保障。《意见》提倡推动常规天然气产量稳步增加，页岩气、煤层气较快发展。同时，加快管网和储气设施建设，补强天然气互联互通和重点地区输送能力短板。《意见》指出要“压实上游供气企业和国家管网公司储气责任”，明确提出了国家管网公司具有储气的责任。另外，《意见》提倡做好油气替代，包括煤制油气、燃料乙醇、生物天然气等领域。

3、深化供给侧结构性改革，提升能源发展质量

《意见》从优化煤炭煤电产能结构、煤炭绿色开发利用、电网安全和智能化、炼油行业健康发展等方面做出了指导。值得注意的是，《意见》将“电网智能化”作为深化供给侧结构性改革的重点工作之一，并提出在长三角、粤港澳大湾区、深圳社会主义先行示范区、海南自贸区（港）等地区推进区域智能电网建设，同时要求加强充电基础设施建设、增强系统储备调节能力、加强需求侧管理，对于提升电网智能化和灵活性做出了更具体的要求。

4、壮大清洁能源产业，推进能源结构转型

《意见》要求持续发展非化石能源，并提高清洁能源利用水平。

除了继续提倡发展风电、光伏、水电、核电等清洁能源，《意见》还强调提高利用水平，鼓励可再生能源就近开发利用以提升利用率，并促进核电满发多发。

5、强化能源民生服务保障

2020年是“十三五”脱贫攻坚战的收官之年，《意见》强调，助力打赢脱贫攻坚战，落实能源行业扶贫责任，支持贫困地区能源资源开发，同时狠抓民生工程，做好光伏扶贫“收口”工作。另外，要求稳步推进北方地区清洁取暖，因地制宜选择清洁供暖技术路线，支持发展背压式热电联产供暖，积极推动风电、地热能、生物质能技术应用，并探索推动分户计量供热。《意见》还将降低社会用能成本列入重点工作，降低企业用电、非居民用气成本，加快推广北京、上海等地“获得电力”典型经验，营造良好的用电营商环境。

6、促创新补短板，培育增强新动能

《意见》将增强创新驱动能力作为能源科技发展的指导思想之一，要求加大能源技术装备短板攻关力度，推进能源重大技术装备的技术攻关和示范应用。《意见》单独强调加大储能发展力度，提出从支持政策、示范项目、技术模式和商业模式、标准体系和信息化平台等方面促进储能发展。同时，要求推动新技术的产业化发展，主要包括氢能的示范应用、“互联网+”智慧能源试点验收以及区块链等新兴技术在能源领域的融合应用。

7、完善能源治理体系，提高治理效能

《意见》针对完善能源治理体系提出了多方面的工作任务，具体而言，包括“十四五”能源规划编制、能源体制机制改革、能源法治建设、能源行业标准体系、能源行业和市场监管、电力安全生产监管等。《意见》明确，将加快《能源法》立法进程，研究制修订《电力法》《煤炭法》，以及《核电管理条例》《能源监管条例》《天然气管管理条例》《国家石油储备条例》等一批法律法规。

8、加强能源国际合作，拓展开放发展新空间

《意见》明确，将继续推动“一带一路”能源合作，深化能源基础设施互联互通。同时，深化对高效低成本新能源发电、先进核电、清洁高效燃煤发电等先进技术领域的国际合作。《意见》将“防范化解重大风险”列为重点工作，针对新冠疫情对国际合作带来的新挑战，提出“根据疫情防控和全球能源供需形势变化，加强国际能源市场分析和预测，适时研究提出应对举措，化解重大风险，维护投资整体安全”。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

国际瞭望

逐步光沉积制备复合催化剂实现催化全解水量子产率纪录

利用太阳光驱动将水分解为氢气和氧气，是实现太阳能制燃料一种最为理想的方式之一，有助于解决能源危机和环境问题。然而目前催化剂的量子产率较低，使得催化剂的催化性能受到了抑制，因此如何进一步提升催化剂量子产率对于改进催化剂的催化性能至关重要。由日本信州大学 Kazunari Domen 教授带领的联合研究团队利用逐步光沉积方法制备了多种催化剂同修饰的铝（Al）掺杂的钛酸锶（ $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ ）复合催化剂，其在 350-360 nm 之间的紫外光波长领域实现了近 100%的内量子产率，创造了全解水催化产氢析氧的量子产率纪录。

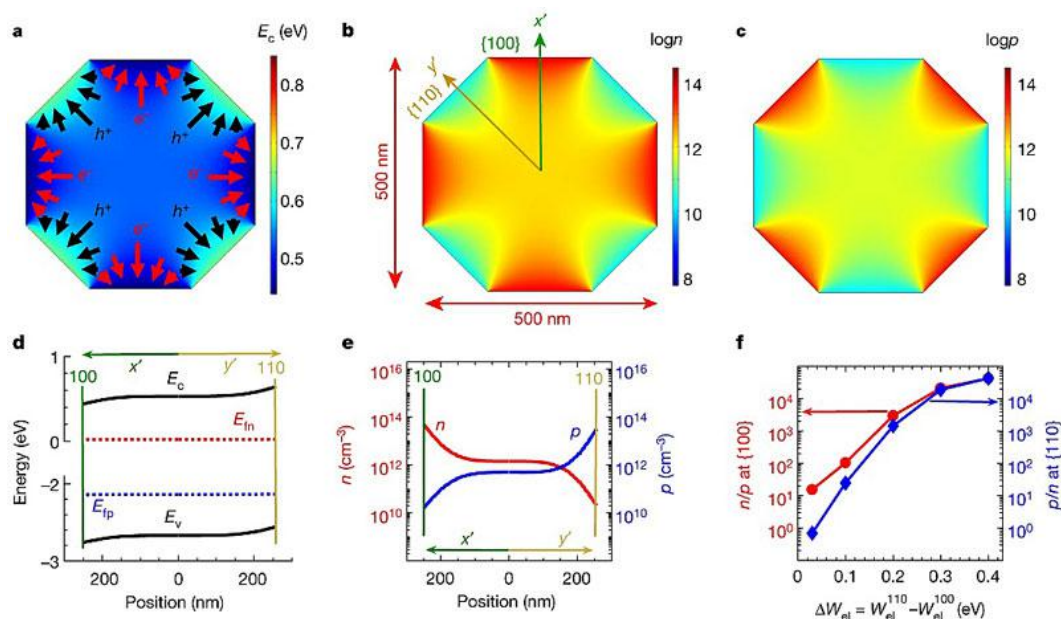


图1 催化剂中光生载流子分布模拟

研究人员首先利用熔盐法制备了 Al 掺杂的钛酸锶 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 催化剂，通过透射电镜表征发现该催化剂暴露出了两种催化活性面，即 $\{110\}$ 和 $\{100\}$ 晶面，两个晶面呈现出的催化活性位点功能不同，前者是氧化活性面，后者是还原活性面。随后通过逐步光沉积在 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 表面依次沉积钌金属（Rh）和氧化铬（ Cr_2O_3 ），其中 Rh 是高效的

析氢助催化剂，而 Cr_2O_3 覆盖又能抑制其表面发生的析氢逆反应，从而增强其析氢催化活性。随后再通过光沉积在上述催化剂表面继续沉积一层钴氧化物 (CoOOH) 作为共催化剂，进一步增强其氧还原催化活性。通过透射电镜表征显示了 $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ 共催化剂优先倾向沉积在 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 的 $\{100\}$ 晶面，而析氧助催化剂 CoOOH 则选择性分散在 $\{110\}$ 面。接着以 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}/\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CoOOH}$ 为催化剂进行催化性能测试，实验结果显示该催化剂的光解水产氢和析氧效率比 $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ 随机分散修饰的 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 活性高出 2 倍多。量子产率表征显示， $\text{SrTiO}_3:\text{Al}/\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CoOOH}$ 在 350-360 nm 光谱区域的外量子效率高达 95.9% 以上，这是目前已知的光催化全解水催化剂的最高值；而内量子效率更是达到了惊人的近 100%。研究人员指出上述催化剂之所以展现出优异量子产率主要在于：① $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 催化剂暴露出不同的活性晶面，相邻的面之间会形成局部的电势差，有利于激发了电子和空穴产生分离；② 产氢 $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ 和析氧的 CoOOH 两种助催化剂选择性分散在不同的活性晶面上，进一步增强了电子和空穴分离，抑制了复合，增强了催化活性。

该项研究采用熔盐法和逐步光沉积方法结合制备了多种复合催化剂，同时增强了产氢和析氧的催化活性，获得了近乎 100% 内量子产率，为设计开发高性能双功能催化剂积累了科学理论基础。本次研究采用的催化剂为宽带隙结构，其光响应范围主要聚集在紫外波段（该波段在太阳光谱的占比较低），对太阳光的利用率较低；下一步研究人员将设计研发同样接近极限高量子产率的窄带隙催化剂，将其光响应范围拓展到可见光甚至近红外波段，进而提升光催化效率，让人工光合技术尽快迈向商业化。相关研究成果发表在《*Nature*》⁵。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

⁵ Tsuyoshi Takata, Junzhe Jiang, Yoshihisa Sakata, et al. Photocatalytic water splitting with a quantum efficiency of almost unity. *Nature*, 2020, DOI: 10.1038/s41586-020-2278-9

IEA：全球氢能发展机遇前所未有 亟需加快发展低碳氢技术

国际能源署（IEA）6月份发布《全球氢能进展报告》⁶指出，电解制氢等低碳制氢技术正加速扩张，氢能在交通运输领域的应用也以前所未有的速度发展，但低碳氢在工业中的应用进展缓慢，向现有天然气管网中注入氢气是快速提升低碳氢需求以促进其发展的有效方法。报告认为，当前氢能发展正面临前所未有的政治机遇，但仍需做出更多努力以进一步促进其发展，并提出了相关行动建议。关键内容如下：

1、低碳制氢产能正加速扩张，尤其是电解制氢

目前，全球大部分氢气生产主要通过排放密集型天然气重整制氢和煤气化制氢两条路线。发展低碳制氢技术对清洁能源转型至关重要，当前主要的低碳制氢技术路线包括：将常规制氢技术与碳捕集、利用与封存（CCUS）集成；通过电解水制氢。由于生产成本低于电解水等其他低碳技术，在短中期内，将常规制氢与CCUS相结合仍然是低碳制氢的主要途径，这一途径正日益受到关注。截至2019年底，共有6个集成CCUS的常规制氢项目投产，每年可生产低碳氢35万吨，还有20多个新项目宣布将在2020年代投产，主要集中在欧洲北海周边国家。

近年来，电解制氢项目数量和装机容量大幅增长，从2010年的不足1 MW增至2019年超过25 MW。此外，项目规模显著增加，2010年代初期的大多数项目规模低于0.5 MW，而2017-2019年规模最大的项目为6 MW，其他项目在1-5 MW之间。日本2020年3月投运了一个10 MW项目，加拿大的20 MW项目正在建设中。此外，预计有数百兆瓦的电解制氢项目将在2020年代早期开始运营。碱性电解槽作为最成熟的电解技术在市场上占据主导地位，特别是对于大型项目。许多新项目选择质子交换膜（PEM）电解槽。与碱

⁶ Hydrogen: Tracking report. <https://www.iea.org/reports/hydrogen>

性电解槽相比，PEM电解槽处于早期开发阶段，但其运行更灵活，因此更适合波动性可再生能源发电。部分已公布项目采用了高效的固体氧化物电解槽（SOEC），几乎都位于欧洲。然而，与碱性电解槽相比，用户对于PEM的灵活性和SOEC的高效带来的运行效益是否值得投入更高成本仍存在分歧。

2、氢能在交通运输中的应用正以前所未有的速度增长，但氢燃料电池汽车只占新型低碳汽车销量的 0.5%

在亚洲市场的推动下，全球燃料电池汽车市场开始蓬勃发展。到 2019 年底，全球燃料电池汽车保有量几乎翻倍达到 25 210 辆，销售量达到 12 350 辆，比 2018 年的 5800 辆增加了一倍多。美国销量从 2018 年的超过 2300 辆略有下降至 2100 辆，但其仍是全球燃料电池汽车最大保有国，占全球保有量的 1/3，其次是中国、日本和韩国。2019 年亚洲市场大幅扩张，缩小了与美国的差距，日本、韩国和中国燃料电池汽车销售量均有所增长。中国 2019 年燃料电池汽车销量接近 4400 辆，主要原因是对燃料电池公交车和轻型卡车的政策支持，两者保有量分别达到近 4300 辆和 1800 多辆，这使得中国燃料电池公交车（97%）和卡车（98%）保有量在全球遥遥领先。

3、2019 年全球在运加氢站数量增长超过 20%

截至 2019 年底，全球在运行加氢站共有 470 个，同比增长 20% 以上。日本以 113 个加氢站继续位居榜首，其次是德国（81 个）和美国（64 个）。韩国（+20）、日本（+13）和德国（+12）新增加氢站数量大幅增加，而美国仅增加了 1 个加氢站。2019 年，中国在运加氢站数量从 20 个增加到 61 个，位居全球第四，紧随其后的是韩国和法国。

4、氢能在非道路运输的应用正逐渐得到认可

2018 年底，阿尔斯通公司生产的两列燃料电池列车在德国投

入运营，试运行成功后，又宣布将有 14 列将于 2021 年投运。英国和荷兰也对阿尔斯通的氢动力列车表现出了兴趣。2019 年，中国在佛山投运一辆燃料电池有轨电车，并在进一步探索氢燃料铁路的可能性。

5、向天然气管网中注入氢气可以显著提高低碳氢的需求

除交通运输外，家庭和工业供热也可能增加低碳氢的需求，可利用现有的基础设施（如天然气网络）注入氢气。法国GRHYD项目于 2018 年开始向天然气网注入掺入 6%氢气的天然气，2019 年掺混率已达到 20%，证明了这种方法的技术可行性。由于高压下材料的不相容性以及工业用户可以接受的混合氢浓度公差较低，向天然气输送管道中注入氢气更具挑战性，一些试点项目正在测试其可行性，意大利天然气管网运营公司Snam公司开发的一个项目已经证明了掺混高达 10%氢气的可行性。世界各地的几个项目已经在向天然气网中注入氢气，越来越多国家开始对此感兴趣，目前世界各地在建装置每年可向天然气网输入 2900 吨氢气。

6、低碳氢的工业应用进展缓慢

在所有部门中，工业对氢的需求量最大，特别是炼油、化工和钢铁制造业。由于这些行业使用高碳氢，用低碳氢替代高碳氢将是在短期内扩大需求、减少温室气体排放的理想机会。在化工和炼油行业，人们对用低碳氢替代高碳氢的兴趣日益增加，一些大型项目已经将碳捕集应用于这两个领域的化石燃料制氢中（例如壳牌公司的Quest项目）。电解制氢仍局限于一些试点或小规模试验，但 2019 年已经公开了一些大规模项目（高达 100 MW），预计将在 2020 年代早期投入使用，这些项目大多涉及炼油或甲醇及氨的生产。此外，在欧洲目前正在进行的试点项目基础上，电解制氢在钢铁行业的扩张正在加快。在不对现有直接还原炼钢炉进行任何重大改造的情况下，氢气可替代高达 35%的天然气，一些钢铁制造商正尝试将

氢气与天然气混合作为过渡策略，以推进部署利用纯氢直接还原炼铁的部署方式。瑞典正在建设一个大型试点工厂，预计 2025 年将进行第一次示范试验。

7、全球范围内对氢能的政策支持力度快速加强

越来越多国家在 2019 年宣布了氢能战略和路线图，一些国家制定了氢能技术部署的目标。各国的路线图和战略目标仍然主要集中在氢能的交通应用上，但自 2018 年以来许多国家已经开始设定氢能在工业、建筑和发电等部门的目标。

表 1 主要国家已设定的氢能发展目标

国家	氢能发展目标	发布时间
西班牙	2020 年：500 辆燃料电池汽车和 20 座加氢站	2018 年以前
比利时	2020 年：22 座加氢站	2018 年以前
芬兰	2020 年：21 座加氢站	2018 年以前
英国	2020 年：65 座加氢站	2018 年以前
法国	2023 年：5000 辆燃料电池汽车，200 辆燃料电池卡车，100 座加氢站；工业使用脱碳 H ₂ 达到 10% 2028 年：20 000-50 000 辆燃料电池汽车，800-2000 辆燃料电池卡车，400-1000 座加氢站；工业使用脱碳 H ₂ 达到 20%-40%	2018 年
日本	2025 年：200 000 辆燃料电池汽车，320 座加氢站 2030 年：800 000 辆燃料电池汽车，1200 辆燃料电池公交，10000 辆燃料电池叉车，900 座加氢站；累计销售 530 万套微型家用燃料电池；氢供应链能力达 30 万吨/年	2018 年以前
韩国	2022 年：81 000 辆燃料电池汽车，310 座加氢站；微型热电联产容量达 50 MW；氢供应链能力达 47 万吨/年 2040 年：290 万辆燃料电池汽车，80 000 辆燃料电池出租车，4000 辆燃料电池公交，3000 辆燃料电池卡车，1200 座加氢站；氢能发电能力达 15 GW（出口 7 GW，国内 8 GW）；微型热电联产容量达 2.1 GW；氢供应链能力达 526 万吨/年	2019 年
荷兰	2025 年：15 000 辆燃料电池汽车，3000 辆燃料电池重型卡车，50 座加氢站；电解槽容量达 500-800 MW 2030 年：300 000 辆燃料电池汽车；电解槽容量达 3-4 GW	2019 年
德国	2020 年：100 座加氢站 2050 年：400 座加氢站	2019 年
氢能部长级会议参会国	2030 年：10 000 座加氢站，1000 万辆燃料电池汽车	2019 年

8、进一步促进氢能发展的行动建议

(1) 确立氢能在国家长期政策和战略中的作用。各国政府应制

定明确的氢能目标和发展途径以确定该行业的发展预期，增强投资者对氢能的信心。这也将有助于工业等部门制定氢能长期目标，特别是在炼油、化工、钢铁和长途运输等关键行业。

(2) 促进国际合作。通过国际合作展开全球规模的行动，包括：
①建立一条国际贸易通道以启动国际氢贸易至关重要，亚太地区是推出第一条路线的有力候选者，日本和澳大利亚之间开发的氢能供应链为实现这一目标提供了一个良好的先行模式；②发展沿海氢中心，扩大低碳氢的生产和利用，从而将低碳氢扩大到其他部门，欧洲北海、中国东南部、印度西北部、墨西哥湾或波斯湾等地区是先期较为理想的选择。

(3) 重点支持短期发展机遇。现有的基础设施，如天然气管网，可以提供创造和扩大低碳氢需求的机遇。支持天然气网中掺混氢的政策和法规（如可再生燃料义务指令和低碳燃料标准）可以通过将低碳氢与安全的能源需求联系起来，加快低碳氢的部署。即使进行低浓度掺混（约 5%），也能显著增加氢供应技术的部署，并降低成本。当这一做法被证明在经济上可持续，就可逐步将掺混率提高至 20%，几乎无需新建基础设施。短期内，还可增加燃料电池在交通运输中的使用，创造低碳氢需求。不同国家的情况可能不同，决策者需要确定重点关注哪种车型，以及鼓励基础设施开发策略以优化利用率。

(4) 消除氢开发的关键障碍。目前的法规限制了低碳氢的部署，监管者应致力于解决所有障碍，并采用一套协调一致的标准，以促进氢能的所有部门和不同基础设施中的广泛使用。尤其应关注：①氢气在天然气管网中的掺混限制；②示范新应用的安全案例，特别是在家用和工业部门；③加氢站加氢标准及许可流程。

(5) 刺激低碳氢需求，解决先行风险。低碳氢仍然比现有燃料和原料更昂贵。为此，应采取适当政策，促进低碳氢可持续市场的发展。这将为供应商、分销商和用户提供投资保障，加强和扩大供应链，

以推动成本降低。氢的新应用、低碳氢供应以及基础设施的开发和改造都是高度不确定的，存在着涉及资本和运营成本的风险。平衡这些风险的政策工具，如贷款担保、税收减免等工具，可以鼓励私营部门投资并降低风险。

(6) 确保强有力的研发支持，以降低成本，提高竞争力。 尽管规模经济对大幅削减成本至关重要，但研发也将对减少支出和提高低碳氢技术的竞争力至关重要。燃料电池和电解槽等较成熟技术（技术成熟度>7级）可通过研发改善其性能和制造工艺，从而降低材料和系统成本，延长其使用寿命，并解决示范过程中可能发现的任何其他性能和寿命问题。氢衍生燃料等中等成熟度技术（技术成熟度5-7级），可以通过财政研发支持获得成功示范，从而增强投资者的信心，这将降低风险认知和融资成本。低成熟度技术（技术成熟度<5级），如配备CCUS的生物质气化以及海水电解，将需要研发支持和知识共享，以推进其验证过程和长期商业化。政府的行动，包括使用公共资金，对于制定研究议程和风险承担水平，以及吸引私人资本进行创新至关重要。工业界在制定长期战略时，应将研发作为优先事项之一，以缩小与高碳氢技术的差距，增强低碳氢的竞争力。

[中科院武汉文献情报中心 汤匀 岳芳]

欧盟发布能源系统集成战略和氢能战略推进气候中性欧洲

7月8日，欧盟委员会发布《能源系统集成战略》⁷和《欧洲氢能战略》⁸，作为“欧盟复苏计划”的一部分，提出了促进欧洲能源系统转型以到2050年实现气候中性欧洲的战略规划。其中，《能源系统集成战略》将为欧洲的绿色能源转型提供框架，《欧洲氢能战略》则将助力能源系统转型，支持工业、交通、电力和建筑部门脱碳，尤其是

⁷ Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy_.pdf

⁸ EU Hydrogen Strategy. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259

在难以电气化的领域。报告要点如下：

一、能源系统集成战略

欧盟认为，能源系统集成将为欧洲向绿色能源转型提供框架，能源系统应作为一个整体进行规划和运行，将不同能源载体、基础设施和消费部门紧密联系起来，以提供低碳、可靠和资源节约的能源服务为目标，对能源系统进行“整体”规划和运营，并使社会付出最低成本。这将基于三大支柱，即：以能效为核心的“循环”能源系统；扩大终端用能部门的直接电气化；在直接加热或电气化不可行、效率不高或成本较高的终端应用中使用可再生和低碳燃料（包括氢）。能源系统集成战略提出了 38 项行动，涵盖修订立法、财政支持、新技术和数字化工具的研究和部署、指导成员国的财政措施和逐步取消化石燃料补贴、市场治理改革和基础设施规划、改进消费者的信息获取等方面。主要包括：

1、以“能效优先”为核心的循环能源系统

(1) 更好地应用“能效优先”原则：①在实施欧盟和国家法规时（2021 年），向成员国发布如何使“能效优先”原则在整个能源系统中应用的指导；②在所有即将实行的相关方法和立法修订中进一步倡导“能效优先”原则；③在 2021 年 6 月的《能效指令》评估中评估一次能源因子⁹，以充分认识可再生能源发电和供热的节能效果。

(2) 构建循环能源系统：①在 2021 年 6 月对《可再生能源指令》和《能效指令》的修订中，通过加强对区域供热网络连接、能源绩效考核和合同框架的要求，促进工业场所和数据中心的废热再利用；②通过新的《共同农业政策》、结构基金（Structural Fund）和“环境与气候行动”（LIFE）计划（自 2021 年起），鼓励利用农业、粮食和林业部门的生物废物和残留物，并支持农村循环能源社区建设。

2、基于以可再生能源为主导的电力系统，加速终端用能电气化

⁹ 一次能源因子（Primary Energy Factor）指为产生单位终端能源（电或热）而消耗的一次能源数量。

(1) 确保可再生能源电力供应的持续增长: ①通过《海上可再生能源战略》以及后续的监管和融资措施, 确保海上可再生能源电力的经济高效规划和部署, 考虑在现场或附近制氢的潜力, 并加强欧盟在海上技术领域的工业领导地位(2020年); ②在2021年6月对《可再生能源指令》的修订中, 探索建立与可再生能源电力相关的“最低强制性绿色公共采购”(GPP)标准和目标, 并通过LIFE计划进行能力建设融资; ③评估《可再生能源指令》(2021年6月), 解决高比例可再生能源电力供应的剩余障碍, 使之符合终端用能部门的需求增长。

(2) 进一步加快能源消费电气化进程: ①作为“革新浪潮”(Renovation Wave)计划的一部分, 利用欧盟所有可用资助, 包括“凝聚基金”(Cohesion Fund)和“投资欧洲”(InvestEU), 进一步推动建筑供热电气化(特别是通过热泵), 部署建筑物可再生能源, 并推出电动汽车充电点(2020年起); ②制定在交通运输、建筑和工业供热和制冷等领域使用可再生能源电力的更具体措施, 尤其将通过修订《可再生能源指令》以及制定部门目标加以实现(2021年6月); ③通过“地平线欧洲”和“创新基金”资助工业部门低温过程热电气化试点项目(2021年); ④在修订《工业排放指令》时, 评估支持工业过程进一步脱碳的方案, 包括通过电气化和能效(2021年); ⑤建议修订汽车和货车的碳排放标准, 以明确从2025年起向零排放交通转型的路径(2021年6月)。

(3) 加快推出电动汽车基础设施, 确保新负荷的集成: ①在2025年之前, 利用欧盟现有资助工具(包括“凝聚基金”、“投资欧洲”和“连接欧洲设施”<Connecting Europe Facility>)支持建设100万个充电站, 并定期就资助机会和监管环境进行沟通, 以推出充电基础设施网络(从2020年起); ②通过将来的修订版《替代燃料基础设施指令》, 加速推广替代燃料基础设施(包括电动汽车), 加强互操作性

要求，确保充足的客户信息，充电基础设施的交叉可用性，以及电动汽车的有效整合电力系统中的车辆（到 2021 年）；③修订《泛欧运输网络（TEN-T）法规》（2021 年前），对充电和加氢基础设施提出相应要求，并通过修订 TEN-E 法规探索更大的协同效应，以对跨境大容量充电及加氢基础设施提供能源网络相关支持（2020 年）；④开发用于需求灵活性的网络代码，以释放电动汽车、热泵和其他电力消费促进能源系统灵活性的潜力（2021 年底开始）。

3、在难以脱碳部门推广可再生和低碳燃料（包括氢能）

①在《可再生能源指令》等现有法规基础上，基于全生命周期温室气体减排和可持续性标准，为所有可再生和低碳燃料提出一套全面的术语体系，并为此类燃料建立一个欧洲认证体系；②考虑通过修订《可再生能源指令》在特定的终端部门（包括航空和海事）中设立最低份额或配额（2021 年 6 月），并通过“航空燃料和海运燃料”倡议（REFUEL Aviation and FUEL Maritime）酌情加以补充（2020 年）；③通过“地平线欧洲”、“投资欧洲”和 LIFE 计划以及欧洲地区发展基金，促进对生产和消费可再生和低碳燃料的综合碳中性产业集群旗舰项目的融资（2021 年起）；④通过“地平线欧洲”计划刺激可再生氢生产化肥（2021 年起）；⑤通过“创新基金”，示范并扩大碳捕集用于合成燃料的生产（2021 年起）；⑥在健全和透明的碳核算基础上，建立脱碳认证监管框架，以监测和核实脱碳的真实性（到 2023 年）。

4、构建适合脱碳和分布式能源的能源市场

（1）促进所有能源载体的公平竞争环境：①向成员国发布指导意见，解决电力的高征税项和征费问题，确保各能源载体价格中非能源成分占比的一致性（到 2021 年）；②通过修订《能源税收指令》，使能源产品和电力的税收与欧盟的环境和气候政策保持一致，并避免对用于储能和氢气生产的电力被双重征税；③在能源部门和成员国之间

提供更加一致的碳价信号，包括通过一项可能的提案将排放交易机制扩展到新的部门（到 2021 年 6 月）；④逐步取消直接化石燃料补贴，包括通过审查国家援助框架和修订《能源税收指令》（从 2021 年起）；⑤确保在公共支持的情况下修订国家援助框架以支持经济高效的脱碳（到 2021 年）。

（2）调整天然气监管框架：①审查立法框架，以设计一个适合可再生气体的竞争性脱碳天然气市场，包括增强天然气客户的信息和权利（到 2021 年）。

（3）改进用户的信息获取：①在《气候公约》的背景下，发起一项有关能源客户权利的消费者信息运动（到 2021 年）；②改进向用户提供工业产品（尤其是钢铁、水泥和化学品）的可持续性信息，将其作为可持续产品政策倡议的一部分，并酌情通过补充立法提案（到 2022 年）。

5、更为集成的能源基础设施

①确保 TEN-E 法规（2020 年）及其修订版（2021 年）完全支持一个更加综合的能源系统，包括加强能源和交通基础设施之间的协同作用，以及实现 2030 年电力互联互通 15% 的目标；②审查十年网络发展计划（TYNDP），确保与欧盟的脱碳目标和跨部门基础设施规划完全一致；③通过修订《可再生能源指令》和《能源效率指令》提出更严格的义务（2021 年 6 月）以及为旗舰项目融资，加快对智能、高效、基于可再生能源的区域供热和制冷网络的投资。

6、数字化能源系统及支持创新框架

①实施数字化能源行动计划，为数字能源服务开发一个竞争性市场，确保数据隐私和主权，并支持对数字能源基础设施的投资（2021 年）；②制定电力网络安全的网络法规，其中包含特定行业的规则，以增强跨境电力流、规划、监控、报告和风险管理的弹性和网络安全（到 2021 年底）；③通过在欧盟范围内访问数据的互操作性要求和透

明程序的实施法案（2021 年）；④发布新的清洁能源研究和创新展望，以确保研究和创新支持能源系统集成（到 2020 年底）。

二、欧洲氢能战略

该战略提出了到 2050 年氢能发展的战略路线，具体目标如下：

第一阶段（2020-2024 年），降低现有制氢过程的碳排放并扩大氢能应用领域，将其从现有的化学工业领域扩展到其他领域。战略计划是在 2024 年前安装至少 6 吉瓦可再生能源电解槽，可再生能源制氢年产量达到 100 万吨。

第二阶段（2024-2030 年），使氢能成为综合能源系统的重要组成部分。战略计划是安装至少 40 吉瓦可再生能源电解槽，可再生能源制氢年产量达到 1000 万吨。氢能应用逐渐扩展到钢铁、卡车、轨道交通以及海上运输等新领域。该一阶段氢能仍将在靠近应用端或者可再生能源资源丰富的地区生产，只能实现区域生态能源系统。

第三阶段（2030-2050 年），可再生能源制氢技术将逐渐成熟，其大规模部署将可以使所有脱碳难度系数高的工业领域使用氢能代替。

为实现上述路线目标，该战略提出了将采取的关键行动，包括：

1、通过制定政策框架促进氢能生产规模扩大

①根据氢能碳减排收益制定支持性政策框架，根据影响评估采用合适的政策工具，包括根据氢气全生命周期排放量制定通用的制氢装置低碳限值或标准，可参考现有的排放交易体系（ETS）对氢生产的基准（2021 年 6 月）；②为可再生氢和低碳氢的认证引入一套全面的术语体系和全欧洲统一标准，可建立在现有的 ETS 监测、报告和验证以及《可再生能源指令》的相关规定基础上（2021 年 6 月）；③为进一步鼓励低碳氢和可再生氢的生产，欧盟将修订 ETS 标准；④欧盟将在 2021 年提出碳边境调节机制，以降低碳排放风险；⑤为碳交易差价合约（CCfD）建立招标系统，针对炼油厂和化肥生产、炼钢以及基本

化学品生产行业的氢能生产、在海运中部署氢气及衍生燃料以及在航空部门使用氢基合成燃料进行试点；⑥通过竞争性招标对可再生氢建立直接、透明、基于市场的支持计划。

2、为氢能基础设施和市场规则设计框架

①通过工业集群和沿海地区的现场生产（从当地可再生能源或天然气制氢），实现生产和需求之间的“点对点”连接；②建立本地氢气网络，优化氢气生产、使用和运输（包括远距离运输），改进跨欧能源网络和为竞争脱碳气体市场评估市场法规，确保整个能源系统效率；③2030年后，随着低热值天然气逐步淘汰，现有泛欧天然气基础设施的组成部分可以重新利用，为大规模跨境运输氢气提供必要的基础设施；④启动氢能基础设施规划，包括在改进的跨欧能源和交通网络以及十年网络开发计划（2021年）中考虑加氢站网络规划；⑤更新气体质量标准以确保氢气掺混于天然气网工程在不同成员国之间的顺利连通；⑥修订《替代燃料基础设施指令》和《跨欧洲交通网络条例》（2021年），以加快不同燃料基础设施部署；⑦设计支持氢能部署的市场规则，消除高效开发氢能基础设施过程中的障碍，实施立法审查，如审查立法无碳化天然气市场竞争（2021年）。

3、进一步加强研发和技术创新

①进一步研究以支持交叉领域的政策制定，特别是改进和协调（安全）标准，以及监测和评估社会和劳动力市场的影响。开发可靠方法评估氢能技术及其相关价值链的环境影响。根据未来部署全面评估氢能相关关键原材料需求，考虑供应安全性和可持续性。②建立清洁氢能伙伴关系，重点关注可再生氢的生产、存储、运输、分配和关键应用（2021年）。③按照现有政策，指导支持氢价值链的重点项目开发。④通过创新基金促进氢能创新技术示范（2020年）。⑤在凝聚基金投资下开展碳密集地区的氢技术区域间创新试点行动（2020年）。

4、促进氢能国际合作

①促进与南部和东部邻国合作伙伴以及能源共同体国家（特别是乌克兰）在可再生能源发电和制氢方面的合作。②在创新使命（MI）的下阶段任务中开发氢能。③在“非洲-欧洲绿色能源倡议”框架内与非洲联盟制定可再生氢合作流程。④在多边论坛上促进国际标准的制定，加强欧盟在国际论坛上有关氢的技术标准、法规和定义的领导地位。⑤通过国际标准化机构和联合国全球技术法规（联合国欧洲经委会、国际海事组织）扩大国际合作，包括协调统一氢动力汽车的法规。⑥开展二十国集团框架下的合作，以及与国际能源署和国际可再生能源机构的合作，为交流经验和最佳做法创造更多机会。⑦为欧元计价交易制定基准，从而巩固欧元在可持续能源贸易中的作用（2021年）。

[中科院武汉文献情报中心 汤匀 岳芳]

欧洲电池技术创新平台提出 2021-2023 年研发创新优先事项

7月3日，欧洲技术与创新平台“电池欧洲”（Batteries Europe）发布了《欧洲电池行业短期研发创新优先事项》¹⁰报告，针对欧洲电池创新价值链提出了短期（2021-2023年）的7大优先创新研发事项，旨在通过加速技术研发创新推动完善电池产业布局，以构建一个具有全球竞争力的欧洲电池产业，助力欧洲气候中性经济体目标的实现。7大优先研发事项的主要内容如下：

一、电池原料可持续加工和安全供应保障

1、锂

加大对硬岩锂矿床矿物学知识研究，以更好地认知和加工矿物，从而实现从矿物中高效低成本提取锂资源。除了强化锂矿开采过程中副产品采集之外，还需对矿物加工处理过程中使用水和能源方式进行优化，以最大限度地减少尾矿和脉石的产生。确保在锂加工处理厂和

¹⁰ Batteries experts identify short-term research & innovation priorities.
<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/batterieseurope-research-and-innovation-priorities-detailed-summary.pdf>

矿场附近有随时可以投入使用的可再生能源。鉴于欧洲拥有丰富的尚未利用的锂矿资源，因此应该将锂矿的开发加工处理作为优先事项。

2、镍和钴

开发工艺更加高效、成本更低廉的从低品位矿石中提取镍和钴金属元素新技术，确保提取的金属元素纯度符合电池应用的需求，从而保障欧洲锂电池金属元素供应安全。

3、石墨

由于欧洲大陆天然石墨资源有限，因此需要发展高品质的合成石墨技术，进而替代天然石墨，为欧洲电池产业可持续发展提供最佳解决方案。

二、开发新材料增强储能电池性能

1、用于电动汽车领域的 3B¹¹型锂电池开发

欧洲开发高电压高容量的 3B 型固态锂电池（高电压、高容量的固态锂电池）必须要解决一系列相关挑战，包括：开发高压正极材料的同时，避免或减少高价元素（例如钴）的使用量；另一方面，依靠先进材料的开发，包括正极、负极、粘合剂、隔膜、电解液、集流体和封装材料，将现有动力锂电池性能提升到接近理论极限水平。

2、用于电动汽车领域的 4A 和 4B 型固态锂电池开发

针对 4A 型电池（基于传统材料的固态锂电池）重点研究内容包括：研制低直流电阻材料，减小负极厚度，开发出高离子电导率的低厚度固体电解质，制备出新的固体电解质中间层，优化电极/固态电解质接触界面以提升电荷迁移速率、电化学稳定性。开发 4B 型锂电池（基于锂金属全固态电池），以进一步提高电池的能量密度和安全性，使之超越现有电动汽车电池性能水平。

3、用于固定式储能领域的钠离子电池开发

欧洲将重点发展基于钠离子电池的固定式储能技术，从该电池正

¹¹ 欧盟电池技术的划分详见战略能源技术计划（SET-PLAN）10 大研究创新行动的第 7 个行动计划内容，即“交通电气化和固定储能”章节内容，内容网络链接为 https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/set_plan_batteries_implementation_plan.pdf。

极、负极和电解质等材料的合成和表征到相关材料组装集成，再到完整的软包式钠离子电池开展全方位的研究，目标是开发出比现有商用的固定式储能电池性能更好、但成本更低的钠离子电池。

4、用于固定式储能领域的液流电池开发

重点研究内容包括：开发材料（如氧化还原电对、电解质等）和新电池架构，并验证基于新材料新架构的新型氧化还原液流电池性能和经济性，以确保在获得更高的能量密度、功率密度和寿命情况下，具备更低廉的价格和良好的环保性。

三、将欧洲打造成全球电池制造业的领导者

1、具有环境效益和成本效益的电极和电池单元组件制造

重点研究方向包括：具有环境效益的电极和电池单元组件制造技术，如完全不使用有机溶剂作为浆料分散介质的电极涂布技术、先进的高固含量涂层、完全干法涂层技术等，以降低生产成本，提升电池性能和使用寿命。

2、电极和电池智能生产设备

重点研究内容包括：将智能质量控制系统集成到生产设备、电池性能退化机制模型开发、大数据驱动的性能测试工具开发、电池生产过程的虚拟模拟技术等。

3、集成数字孪生技术的电池制造生产线

重点研究内容包括：开发灵活的制造流程和高精度建模工具，以优化工艺、条件和机器参数；在电池制造过程中开发和验证多重物理量和多尺度模型，能够更加准确了解制造过程的每个步骤；开发基于物理建模和 AI 技术的电池数字化模型，将电池设计和制造设计集成在一起。

4、电池制造工厂价值链整合

欧洲需要全面整合电池工厂价值链，即构建一个深度协同合作网络，将欧洲地区工业规模的电池制造商、电池加工设备公司、原材料

和其他相关工业部门进行全面整合，打造欧洲本土化的电池制造业，以抗衡亚洲电池制造商。

四、交通动力电池储能技术

1、电池模块和电池组的设计和制造

欧洲需要重新定义一种电池模块和电池组创新设计以及相关的制造工艺，以减少开发时间和成本并提高性能，同时还要考虑其环境可持续性，如可回收性和碳足迹。

2、电池热管理技术

由于过高或过低的温度都将直接影响动力电池的使用寿命和性能，并有可能导致电池系统的安全问题，为此欧洲必须发展先进的电池热管理技术，提高电池系统的效率、可靠性、使用寿命和安全性。

3、发展先进的电池管理技术优化电池利用率

欧洲需要开发更先进的电池管理技术提升电池利用率，重点研究任务是开发基于知识和数据的电池管理系统，以降低电池系统的总成本，确保在所有操作模式下能够安全高效的使用。

4、开发用于电池模块和电池组开发、制造和电池管理的数字孪生技术

欧洲需要在电池的开发和生产过程中引入数字孪生技术，实现对电池开发、系统设计和制造全流程的高精度模拟，加快研发过程，并提高电池模块和电池组的性能，降低成本。

5、电池安全性、性能、可靠性和使用寿命的评估方法和工具

欧洲需要应用各种技术，如物理特征表征技术、计算机模拟、现场测试或这些技术的组合，来开发新的评估方法和工具，大幅降低电池评估的成本（至少降低 20%-30%）和所需时间（至少减少 20%-0%）。

五、支持固定式储能和电动汽车用储能设施部署

1、固定式电力储能系统的安全性

欧洲需要加强电池制造、应用和防护等环节的电力储能系统安全

性研究：一是电池生产制造环节的安全，包括电池材料和生产工艺控制；二是电池应用环节的安全，包括预警、防护和消防等。三是配套设施的安全设计，包括电站隔热和导热设计等方面。

2、开放式电池管理系统

欧洲需要开发电池管理系统对电池及其单元进行智能化管理，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的健康状态。此外，确保电池管理系统的开放性，即第三方必须有权访问所有必要的电池系统信息、电池状态、操作模式和互操作性条件；从而实现利用上述信息来开发延长电池寿命的解决方案，并演示诊断和预测电池系统寿命健康状态的方法。

3、固定式电池储能系统的互操作性

互操作性和多服务模式运行是电池储能系统优于其他竞争性储能技术的关键支柱，这对灵活使用电动汽车也很重要（电动汽车既可以作为用电终端，也可以作为供电设备）。欧洲需要将互操作性与合适的电池运行标准、业务模型和技术解决方案相结合，成为电力储能系统、混合储能系统和电动汽车开发的一部分，以实现电池储能系统在上述不同应用场景下服务模式的灵活切换。

4、长时电池储能系统

依据《绿色协议》，欧洲到 2050 年要实现零排放能源系统目标，波动性太阳能和风能在欧洲能源结构中占比将显著增加，使得高比例集成低碳能源资源的电网稳定性面临挑战，为此欧洲亟需开发长时（储能时长 10 个小时以上）电池储能系统来解决。

5、储能与直流微电网

直流微电网中直流微电源输出不稳定会造成网内功率不平衡及直流母线电压大范围波动问题，可以通过部署配套的储能系统给予解决。欧洲需要开展基于储能的直流微电网能量管理和电压控制研究、直流微电网储能系统自动充放电改进控制策略研究等。

6、用于固定式储能的退役电动汽车电池的建模和标准化研究

到 2025 年，欧洲预计会有 29 GWh 电动汽车退役电池能够用于二次回收利用，其中三分之一（10 GWh）可以应用到固定储能领域，实现电池寿命的延长和碳足迹的缩减。欧洲必须开展用于固定式储能的退役电动汽车电池的建模和标准化研究，重点在电池寿命评估方法、电池翻新修复和电池管理方面开展研究。

六、电池回收

1、电池材料回收

未来 10 年，欧洲大量的储能电池使用寿命到期需要报废处理，欧洲需要在整个欧盟范围内开发一套统一的废旧电池回收处理系统和标准。开发更环保的电池回收处理工艺，以尽量减少能源、水的消耗，以提升有价值化学材料回收率，并尽量减少接触有害物质的几率。

2、电池收集、逆向物流、拆解和分类

欧洲需要对电池进行系统分类标签，以实现高效的回收流程；需对回收工厂进行改造以处理大量的废电池，并且需要建立从分拣、拆卸到回收的高度自动化过程；发展现代低碳足迹物流。

七、培育新兴电池技术

1、多价离子电池

未来社会对电池能量密度、比容量的要求越来越高，欧洲需要对新一代高能量密度的多价离子电池进行研究布局，以维持电池技术全球领先地位和为抢占未来的市场积累技术储备。

2、新型液流电池

欧洲需要开发经济性更加优越的新型液流电池技术，重点围绕新型液流电池技术开展建模、可持续电化学和电池设计、电化学模型设计以进行电池材料和性能的仿真，并辅以实验结果，从而能够以更快、更经济的方式发现最有应用潜力的氧化还原电对，进而更快地开发出更高能量密度、更低价格、更环保和更安全的新型液流电池。

3、水系电解质电池

相比于有机电解液，水系电解液具有无毒无害、不可燃、成本低和对生产环境要求低等优点，同时水系电解液的离子电导率要比有机电解液高，极大改善锂离子电池的倍率和快充性能。欧洲需要大力开展低成本、安全先进的水系电解质电池研究。

4、新兴的电池界面研究技术

电池界面（固-固、固-液界面等）电化学过程对电池的各方面性能均会产生重要的影响，为此需要对电池界面的电化学过程进行系统研究。欧洲需要研究开发电池界面电化学过程的原位无损表征技术，开展计算机建模以模拟界面的电化学过程，更好地理解电池电化学反应和性能降解衰退的工作机制。

5、探索新型负极材料

新兴负极材料的研发成为提升锂电池能量密度的重要方向。欧洲需要开展新型负极材料研发，但不能采用传统的基于人工试错实验方法，应该利用大数据、人工智能技术来开发高通量的实验模拟平台，实现对海量数据的快速解析从而大幅提升新材料的甄别和筛选速率，加快研发进程。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

美国能源部发布“储能大挑战”路线图草案

7月14日，美国能源部（DOE）发布《“储能大挑战”路线图草案》¹²，提出了加速储能技术创新以实现“储能大挑战”计划目标的战略路线。DOE于2020年1月启动了“储能大挑战”计划，旨在加速下一代储能技术的开发和商业化应用。路线图草案提出了“储能大挑战”计划五个领域的重要行动（技术开发、制造和供应链、技术转化、政策与评估、劳动力开发），并提出了6个与社区、商业和区域能源和基础

¹² Energy Storage Grand Challenge Draft Roadmap.
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/ESGC%20Draft%20Roadmap_2.pdf.

设施目标相关的应用场景设想。路线图草案关键信息如下：

一、“储能大挑战”路线图草案背景

2017-2019 年期间，DOE 为储能技术研发投入了超过 12 亿美元的资金，但尚未提出针对储能的整体战略。为此，DOE 于 2020 年 1 月推出“储能大挑战”计划，该计划基于 DOE 2020 财年预算中的“先进储能”计划，DOE 将通过“储能大挑战”计划克服技术开发、商业化、制造、政策评估和劳动力等方面的挑战，使美国在未来储能技术领域处于全球领先地位。

“储能大挑战”计划的愿景是：到 2030 年，建立并维持美国在储能利用和出口方面的全球领导地位，拥有可靠的国内制造链和不依赖进口的关键材料供应链。

“储能大挑战”计划在五个领域提出了重要行动，包括：①**技术开发**，使 DOE 当前和未来的储能研发活动围绕以用户为中心的目标和维持长期领导地位进行；②**制造和供应链**，为美国储能制造业开发技术、方法和策略，以支持和加强美国在创新和持续规模制造的领导地位；③**技术转化**，通过现场验证、示范项目、公私合作、融资业务模式开发以及高质量市场数据的传播来确保 DOE 研发成果向国内市场转化；④**政策与评估**，提供数据、工具和分析方法，以支持政策决策并最大程度地发挥储能的价值；⑤**劳动力开发**，培养研究、开发、设计、制造和运营储能系统的专业队伍。

路线图草案重点关注如何解决三大挑战，即：①**国内创新**，DOE 如何能使美国在储能研发方面处于世界领先地位，并保护 DOE 在国内资助开发的知识产权；②**国内制造**，DOE 如何通过降低对国外材料和组件来源的依赖来削减制造现有储能技术的成本和能源影响，并加强国内供应链能力；③**全球部署**，DOE 如何与利益相关方合作，开发满足国内需求的技术并在国内市场成功部署，并且还能出口技术。

二、“储能大挑战”路线图草案的技术开发行动举措

技术开发将解决“国内创新”挑战，目标是：发展和运转一个研发生态系统，加强并保持美国在储能创新方面的领先地位。将主要采取三方面行动，包括：

行动 1：开发应用场景作为指南。该行动将开发能够应用更高性能、低成本的储能技术实现的未来应用场景，以构想未来（2030 年及以后）储能服务于终端用户的方式，确定和更新未来储能系统性能和成本目标。每个应用场景都将包含多个特定实例，以验证未来储能系统的需求和技术要求。主要应用场景包括：①构建不断发展的电网，适用于美国电力系统，主要解决波动性可再生能源占比增加，用户需求动态变化，天气、物理和网络安全等问题；②为偏远社区服务，适用于岛屿、沿海和偏远社区，主要解决物流和维护导致的电力溢价、电力供应中断等问题；③电动交通，适用于充电基础设施（包括配电网）以及电动汽车储能系统，将解决快速充电对配电网的压力及降低电动汽车电池成本并改进性能等问题；④相互依赖的网络基础设施，适用于对电网运营至关重要的基础设施部门，包括天然气、水、通讯、信息技术、金融服务等；⑤关键服务，适用于国防及政府设施、应急服务及医疗保健、有严格运营要求的公司等，将解决灾害等突发停电问题；⑥设施灵活性、效率和价值提升，适用于商住楼以及能源密集型或发电设施（如工业过程应用及发电设备）。

行动 2：确定技术组合。该行动将确定能够在 2030 年前取得重大进展以实现成本目标的储能技术组合，以解决每个应用场景中的挑战。

行动 3：构建创新生态系统。该行动将通过建立适合每个阶段（基础研究到商业示范）的资助和支持机制，加强创新生态系统（包括国家实验室、大学、初创企业）。DOE 将加大两方面的技术支持力度：①新建或改进技术研发基础设施，特别是开发或测试设施，以对储能和灵活性技术概念进行快速、早期的性能验证；②部署商业前示范项目，将按照技术、政策、制造和劳动力的区域综合示范来组织，以增

强最终用户的信心，促进市场应用。

[中科院武汉文献情报中心 岳芳]