

能 量 转 换

剪 报 资 料

总 62 期
2/2023.2

中国科学院广州能源研究所 广东省新能源生产力促进中心
中国科学院可再生能源重点实验室 中国科学院天然气水合物重点实验室
广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室

目 录

一、总论

1. 我国风电光伏年发电量创历史新高..... 5
2. 国家电投清洁能源装机占比升至 65.87% 5
3. 中国引领全新能源清洁转型..... 7
4. 海洋经济稳步迈向深蓝 10
5. 日媒文章：人工智能或使科技发生重大变化 12
6. 中共中央 国务院印发《质量强国建设纲要》 13
7. 我国可再生能源装机突破 12 亿千瓦..... 14
8. 全球低碳能源技术投资首次突破一万亿美元 15
9. 推进农村电网巩固提升 发展农村可再生能源 16
10. 2022 年全国能源保供能力稳步提升 17
11. 国家能源署：未来三年全球电力需求将加速增长..... 17
12. 新能源高比例发展尚需多方发力..... 18
13. 充分借鉴欧盟能源转型的经验教训..... 20
14. “十四五” 新能源产业发展任重道远 23
15. 日本能源政策或迎重大转变..... 25
16. 国内首个分布式智能电网示范区开建..... 26
17. 国内特高压线路首次应用移动带电融冰装置..... 27
18. 农村能源转型要做好电文章..... 28
19. 为沿海地区分布式可再生能源发电消纳提供路径..... 30

二、热能、储能、动力工程、节能

1. 新能源电力项目开工热 31
2. 虚拟电厂：不生产电，但管理电 34

3. 赋能地下盐穴 助力高效用能	36
4. “超级充电宝” 蓄势待发	39
5. 锂离子电池未来发展方向或被重新定义	42
6. 2023 年版《bp 世界能源展望》报告发布——全球电力系统逐步向低碳化转型	43
7. 液态金属新材料兼具拉伸性与气密性	44
8. 华科大团队制备超疏水阻燃复合材料	45
9. 新型“变色龙” 建材控温又节能	46
10. 全新形式中密度冰造出——有助揭示水在低温下奇特行为	46
11. 二氧化碳电解技术研发取得新进展	47
12. 全国已投运新型储能项目装机规模达 870 万千瓦	48
13. 甘肃新型储能发展前景分析及对策建议	49
14. 新型储能发展成效初显难题仍存	51
15. 大容量电池储能站实现“说走就走”	54
16. 科学家发明锂电池正极材料制备新方法	56
17. 日本发现降低物质热传导率新机制	57
18. 锂空气电池能量密度有望创新高	58

三、碳达峰、碳中和

1. 北京将建面向全球的国家级绿色交易所	58
2. 温室气体排放测量联合实验室揭牌	59
3. 广西发布碳达峰实施方案	60
4. 我国科学家构建出新型人工碳晶体	61
5. 我国建立首个汽车产业链碳公示平台	61
6. 陕西印发碳达峰实施方案	62
7. “双碳” 背后，新型能源科技正发力	63
8. 让二氧化碳在海底“安家”	65

四、生物质能、环保工程（污水、垃圾）

1. 生物基材料创新发展迎政策利好	67
2. 国产催化剂出手，让甲醇合成更经济高效	70
3. AI 首次成功从零生成原始蛋白质	71
4. 全天然仿木气凝胶隔热耐火性能优越	72
5. 发电细菌生成超稳定蛋白质“纳米线”	73
6. 生物技术或改变你的未来食物清单	74
7. 仿生种子“船舱”设计成功	74
8. P450 酶实现不饱和烃直接硝化	75
9. 科学家提出光催化生物质制氢新策略	75

10. 全球甲烷排放有了“超级监视器”	76
11. 巧用生物电催化, 将二氧化碳高效合成氨基酸	77
12. 解析微藻生物膜贴壁培养机制	78
13. 强化铁矿物上碳“束缚”使稻田土壤更肥沃	79
14. 实现高温聚合物电解质膜燃料电池新设计	80
15. 2022 年我国生物质发电新增 334 万千瓦	80
16. 日本推广“藻场”吸收温室气体	81
17. 蘑菇可取代塑料制造超轻材料	82

五、太阳能

1. 新研究发现绿光调控植物发育机制	83
2. 《中国太阳能热发电行业蓝皮书 2022》发布	83
3. 我科学家提出钙钛矿电池新结构方案	84
4. 今年我国光伏新增装机有望冲击 120 吉瓦	85
5. 水上浮动的发电农场	86
6. 新型超表面体系可增强光与物质的手性相互作用	88
7. 新技术可捕捉材料波动的高清影像	88
8. 钙钛矿光伏技术发展现状与建议	89
9. 捕捉看不见的“太阳能量”	92
10. 我国科学家成功创制“光晶体管”	93

六、地热

1. 国内首创海底钻热联合作业实现 203 米地温测量	95
2. 地热能有望“热”起来	95
3. 我国首个跨地级市核能供热长输管网工程开工	97
4. 中国地热产业如何跑出加速度?	98

七、海洋

1. 海洋碳汇开启新蓝海	100
2. 中外学者合作补齐海洋铅循环拼图	102
3. 我国海洋可再生能源产业化发展路径探析	103
4. 解锁海洋能源这个宝藏	106
5. 为海底管道精准“把脉”	107
6. 我国新一代漂流浮标“浮出海面”	108
7. 海洋热浪发生机制研究获新进展	109
8. 木卫二上可能存在新型咸冰	109

八、氢能

1. 高制取成本掣肘绿氢发展	110
----------------------	-----

2. 国内首个生物制氢发电一体化项目试运	112
3. 氢常温运输走向实用化	113
4. 氢氨一体化去年开始“发烧”	114
5. 首个甲醇制氢加氢一体站来了	116
6. 海水制氢技术渐行渐近	117
7. “空气制氢”技术加速落地	119
8. 无需脱盐的海水制氢新法出现	120
9. 新一代金属支撑固体氧化物燃料电池问世	121
10. 表面氢溢流原子可视化研究取得新进展	122
11. 清洁能源制绿氢 氢电耦合提效能	122
九、风能	
1. 浮式海上风机不断涌现新样式	124
2. “仙女”机器人借助风和光飞行	126
3. 安抚电压突变“情绪”，让风电不再“靠天吃饭”	127
4. 全国首个批量化大容量海上风电机组项目开工	128
5. 全球最大 10 兆瓦陆上风机发布	129
6. “海洋地质二号”船创新海底作业新模式	129
7. 日本启动大规模海上风力发电	130
8. 风光电大基地开辟规模建设新思路	131
十、核能	
1. 激光聚变“点火”成功是人类迈向聚变能时代里程碑	133
2. 法国力促欧盟发展核能制氢产业	136
十一、其它	
1. 300 米深水立起“海基一号”	138
2. 油气资源开发向“深”挺进	140
3. 我国海上首个蒸汽驱先导试验累产油破 20 万吨	143
4. 首口全国产化重建井筒重复压裂井获高产	143
5. 国产首套 LNG 船对船加注系统完成首秀	144
6. 真空互联实验装置建成将为纳米材料研究提供新路径	144
7. 抽水蓄能核心控制系统装上了“中国芯”	145
8. 我国一次性建设规模最大原油商业储备库项目投用	146

本简报资料仅供领导和科技（研）人员学习参考

一、总论

我国风电光伏年发电量创历史新高

经济日报 2023.2.14

本报北京2月13日讯（记者王轶辰）在13日召开的国家能源局新闻发布会上，国家能源局新能源和可再生能源司副司长王大鹏介绍，去年全国风电、光伏发电新增装机达到1.25亿千瓦，连续3年突破1亿千瓦，再创历史新高。

去年，我国锚定碳达峰碳中和目标，加强顶层设计，做好政策供给，统筹能源安全供应和绿色低碳发展，可再生能源呈现发展速度快、运行质量好、利用水平高、产业竞争力强的良好态势，取得了诸多里程碑式的新成绩。

数据显示，去年可再生能源新增装机1.52亿千瓦，占全国新增发电装机的76.2%，已成为我国电力新增装机的主体。其中，风电新增3763万千瓦、太阳能发电新增8741万千瓦、生物质发电新增334万千瓦、常规水电新增1507万千瓦、抽水蓄能新增880万千瓦。到去年底，可再生能源装机达12.13亿千瓦，占全国发电总装机的47.3%，较2021年提高2.5个百分点。其中，风电3.65亿千瓦、太阳能发电3.93亿千瓦、生物质发电0.41亿千瓦、常规水电3.68亿千瓦、抽水蓄能0.45亿千瓦。

据了解，去年我国风电、光伏发电量首次突破1万亿千瓦时，达到1.19万亿千瓦时，较2021年增加2073亿千瓦时，同比增长21%，占全社会用电量的13.8%，同比提高2个百分点，接近全国城乡居民生活用电量。去年，可再生能源发电量达到2.7万亿千瓦时，占全社会用电量的31.6%，较2021年提高1.7个百分点，可再生能源在保障能源供应方面发挥的作用越来越明显。

“我国可再生能源继续保持全球领先地位。”王大鹏表示，全球新能源产业重心进一步向中国转移，我国生产的光伏组件、风力发电机等关键零部件占全球市场份额70%。同时，我国可再生能源发展为全球减排作出积极贡献，去年我国可再生能源发电量相当于减少国内二氧化碳排放约22.6亿吨，出口的风电光伏产品为其他国家减排二氧化碳约5.73亿吨，合计减排28.3亿吨，约占全球同期可再生能源折算碳减排量的41%。我国已成为全球应对气候变化的积极参与者和重要贡献者。

国家电投清洁能源装机占比升至65.87%

中国能源报 2023.2.6

本报讯“截至2022年底，国家电投控股发电装机2.12亿千瓦，其中清洁能源装机1.4亿千瓦，占比达65.87%。2022年全年完成发电量6639亿千瓦时，新能源发电量继续保持国内发电集团第一。”国家电投党组书记、董事长钱智民日前在该公司2023年工作会议上，用直观的数据盘点了2022年在质量效益、新能源开发、推进重大专项、创新驱动、融合协

同发展等方面的“成绩单”。

在回顾国家电投五年来的发展时，钱智民表示：“我们超前布局、大力发展光伏发电等新能源，才造就了新能源装机世界第一的国家电投名片。”

据了解，2022年，国家电投新能源项目“核开投”规模再创历史新高，全年新能源开工、投产规模持续领跑全国，清洁能源大基地开发成效显著。其中，成功获得国家“沙戈荒”青海海南戈壁基地开发权，获取新能源1560万千瓦。新疆区域150万千瓦资源、青海共和100万千瓦源网荷储项目分别入选国家第二批大型风电光伏基地正式项目和预备项目清单。

作为多个国家级重大专项的实施主体，国家电投在核电、重型燃气轮机重大专项研发等方面取得积极进展。

据钱智民介绍，国家电投依托“国和一号”自主三代核电项目建设现代产业链链长，攻关形成一批重点创新成果，建立共性技术研发行业平台，打造百家单位产业链联盟。2022年，全国核准的10台核电机组中，有6台采用CAP1000技术，实现了历史性突破。重型燃气轮机重大专项方面，组织全产业链在国内首次建立了完整有效的重燃自主研制体系，引领带动产业链上下游整体能力提升。在能源工业互联网专项工程方面，建成覆盖4000余家电力、煤炭、石油、天然气等领域的能源工控网络安全态势感知大数据平台，能源企业预警平台已上线运行并接入国务院国资委相关终端，支撑国家能源系统安全监管和决策。

无论是绿色转型，还是攻坚重大专项，均离不开科技创新的持续赋能。

“我们深切体会到，正是由于坚持创新驱动，聚焦价值实现，聚焦支撑产业发展，聚焦产学研用合作，聚焦落地见效，持续迭代创新路径与保障机制，才支撑国家电投初步建立了差异化的竞争优势。”钱智民坦言。

2022年，国家电投突破了一批国内外领先的核心技术，新兴产业创新成效显著，形成了用户侧智慧能源1.0-4.0的顶层设计及路径，构筑了覆盖源、网、荷、储各环节19个方面、61个类别的坚实技术基础。同时，构建了氢能制、储、输、加、用全产业链，投产全球最大功率铁-铬液流电池首条量产线，国内首台百吨级纯电交流驱动自卸车实现应用，国内率先研发的高温水洗颗粒制备移动生产线投产。

除了核心技术研发，国家电投2022年还建设了一批引领性创新示范工程，并在传统产业创新方面成果颇丰：开工全球最大的可再生能源制氢合成氨项目—大安项目，投产试运行国内首套10万吨级燃机烟气碳捕集项目—长兴岛CCUS项目，建成投运国内首例光伏直流电直供电解铝项目—昆明阳宗海项目；IBC电池量产平均效率达到24.2%，钙钛矿叠层电池实验室效率突破30%，国内首条光伏组件回收中试线综合回收效率达到92%。

在国家电投重点推进的融合协同发展方面，目前已进入430个县开展县域开发，自主研发的综合智慧能源管控与服务平台天枢一号共接入200多个“三网融合”示范项目，累计导流用户过万人。上下游产业协同方面，投运全国单体最大的独立储能电站，在储能领域形

成了新源智储、融和元储等具有较强综合竞争力的品牌。产金融合方面，打造了国内氢能领域首个市场估值超百亿的独角兽企业。绿色产业融入生态文明建设方面，内蒙古乌兰布和、磴口 30 万千瓦先导项目实现投产。

对于 2023 年的总体工作，钱智民从质和量的提升增长、创新见效和协同融合、改革和管理、风险防控四方面提出目标。“从质的提升和量的增长方面考虑，一是要做强做优做大，保持清洁能源的领跑地位；二是将大基地开发作为提质增量的重要抓手；三是聚焦火电扭亏，全面改善火电资产经营质量；四是全面提升营销工作的市场应对和统筹协调能力。”（朱学蕊）

中国引领全球能源清洁转型

中国能源报 2023.2.6

在《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方大会（COP27）上，可再生能源议题受到诸多关注。加快可再生能源发展是推动全球能源行业绿色低碳转型，也是实现应对气候变化战略目标最重要的举措之一。

在延缓气候变暖、增强气候适应性的过程中，如何突破清洁、安全、经济性的“不可能三角”，构建起具有弹性的能源系统至关重要。伴随全球可再生能源装机容量和发电量的增长，可再生能源在全球能源消费中的占比提升，能源系统更加清洁。同时，技术创新的突破和投资规模的增长使得可再生能源发电成本进一步降低，并有望帮助部分发展中国家加快实现电力可及性。

法国能源统计公司（Enerdata）的数据显示，中国、美国、欧盟是目前全球温室气体排放量最高的三大经济体，2021 年合计二氧化碳排放量在全球碳排放总量中占比超过一半。三个国家和地区在可再生能源方面的政策和行动关乎全球可再生能源发展以及应对气候变化目标的实现。

■ 装机量、发电量持续增长可再生能源成低碳战略重点

《巴黎协定》签署以来，全球可再生能源发展不断提速。国际可再生能源机构（IRENA）的数据显示，截至 2021 年底，全球可再生能源装机量达到 30.64 亿千瓦，较 2015 年增长 55.93%。

在过去 7 年间，中国可再生能源增速领跑全球。国家能源局的数据显示，截至 2021 年底，中国可再生能源发电累计装机容量为 10.63 亿千瓦。另据国际能源署（IEA）发布的数据，中国可再生能源装机容量在全球装机容量中占比超过 30%。中国光伏累计装机容量已连续 7 年位居全球首位，海上风电装机规模也已跃居全球第一，占比超过 40%。同时，中国可再生能源累计装机在国内发电装机中的占比持续提升，2022 年上半年占比已经达到 45.8%，可再生能源新增装机已经成为新增发电装机的主力。

2015 - 2021 年间，美国、欧盟的可再生能源装机量也维持稳定上升趋势。数据显示，

截至 2021 年，欧盟可再生能源累计装机达到 5.13 亿千瓦，在欧盟发电装机容量中占比过半。美国可再生能源累计装机 3.25 亿千瓦，在发电装机中占比近 30%。

针对未来 5 - 10 年的可再生能源发展，三个主要经济体都提出了更有雄心的目标。

在发电量方面，随着电气化进程的加快，全球发用电量持续增长，可再生能源发电量在总发电量中的占比也在快速增加。IEA 的数据显示，2021 年可再生能源发电量占比已从 2015 年的 23.7% 提高到 28%。

2015 年以来，中国发电量保持增长态势，2022 年上半年已超过美国、欧盟之和。2021 年全年，中国可再生能源发电量达到 2.49 万亿千瓦时，占全社会用电量的 29.9%。同期，美国发电总量整体保持平稳，2021 年可再生能源发电占比 23%。欧盟发电总量则略有下降，2021 年可再生能源发电占比超过 30%。

IEA 预测，作为电力领域减排的主要途径，太阳能发电和风力发电量占比将在未来 20 年间持续增长，预计 2030 年占比将增至 40%，到 2050 年甚至高达 70%。

尽管全球可再生能源发展迅速，但进展依然不足以实现《巴黎协定》设定的“本世纪全球平均气温升幅与工业革命前水平相比不超过 1.5 摄氏度”的目标。世界气象组织 (WMO) 此前发布的《2022 年气候服务状况：能源》提到，全球约 3/4 的温室气体来自能源部门。未来 8 年间，清洁能源电力供应需要增加 1 倍以上，才能实现此前制定的减排目标，可再生能源发展仍需提速。

■■ 发电成本降低助力发展中国家提升清洁电力可及性

全球可再生能源装机规模扩张的背后，是对可再生能源领域的大量投资。彭博新能源财经 (BNEF) 的数据显示，2015 年以来，全球可再生能源领域年投资额基本维持在 3000 亿美元左右，其中在 2018 - 2021 年间，投资额持续增长。2022 年上半年，可再生能源投资额达到创纪录的 2660 亿美元。挪威能源研究和商业情报公司雷斯塔能源公司 (Rystad) 预计，今年可再生能源投资将首次超过石油和天然气。

近 10 年来，中国可再生能源投资维持年均两位数的高增长，2010 - 2021 年间总投资规模居全球第一。据 BNEF，2022 年上半年中国可再生能源投资额占全球投资额的 43%。其中，太阳能项目投资为 410 亿美元，比上年增长了 173%。新的风电项目的投资额为 580 亿美元，同比增长 107%。

从全球来看，在美国《通胀削减法案》(IRA)，《欧盟可再生能源计划》(REPower EU)，中国“双碳”目标下的系列政策，日本、韩国等国相关政策的支持下，2030 年前，全球每年在气候中和技术方面的投资仍将保持快速增长。

大量资金投入带来的发电效率提升和产业链规模效应，也使得可再生能源发电成本进一步下降。IRENA 在《2021 年可再生能源发电成本报告》中提到，2021 年新投产的太阳能光伏 (PV)、陆上和海上风电项目的全球加权平均成本下降，其中公用事业规模太阳能光伏、陆上风电和海上风电项目的全球平均能源成本 (LCOE) 分别同比下降 13%、15% 和 13%，

达到 0.048 美元/千瓦时、0.033 美元/千瓦时和 0.075 美元/千瓦时。

IEA 认为，到 2025 年，风电和光伏的发电成本将远远低于燃煤发电成本。可再生能源将成为世界很多地区最经济实惠的发电技术，并帮助无电人口实现电力可及。

目前全球仍有约 7.6 亿人生活在无电地区，其中 3/4 的无电人口居住在撒哈拉以南的非洲地区。为支持相关地区提升电力可及性，加快能源转型。COP27 期间，受中国国家能源局委托，水电水利规划设计总院和非洲能源委员会联合相关单位，共同发起《清洁能源提升非洲电力可及性埃及倡议》，旨在呼吁国际社会进一步关注非洲地区无电人口用电问题，在促进多样性、公平性和包容性原则的基础上，采取更加有力和可持续的行动推动非洲清洁能源发展，为提升非洲电力可及贡献力量。

■■ 可再生能源发展拉动经济和就业增长

作为更具竞争力和效率的发电方式，可再生能源对拉动国内生产总值具有重要意义，不仅可以提供更多就业岗位，还可以吸引更多投资。

在拉动就业方面，IRENA 与国际劳工组织（ILO）共同发布的报告显示，在新冠肺炎疫情和日益严重的能源危机影响下，可再生能源领域的工作人数依然持续增长，2021 年全球新增 70 万个可再生能源就业岗位，使全球可再生能源就业人数达到 1270 万，中国占全球总数的 42%，其次是欧盟和巴西各占 10%，美国和印度分别占 7%。该报告预测，到 2030 年，全球可再生能源工作岗位数量预计将增至 3820 万个。太阳能发电因其产业链较长，将是工作岗位需求增长最快的可再生能源行业，预计年均增长率将达到 13.7%，到 2030 年，全球光伏从业人员预计将占可再生能源劳动力总数的 1/3 以上。

中国光伏行业协会的数据显示，2021 年中国光伏行业从业人数总计 246 万人，其中直接从业人员约 41 万人。预计 2022 - 2025 年间，中国光伏从业人员需求将达到 334.2 - 400.8 万人。

在拉动经济增长方面，中国是全球最大的可再生能源市场和设备制造国，中国能源转型的持续深入有助于中国经济在艰难的国际形势下企稳回升。以光伏行业为例，2021 年主要制造环节的 GDP 产值达到 7734.46 亿元，同比增长 81.13%。同时，中国光伏产品已出口到全球 200 多个国家和地区，2021 年在各大洲市场的出口额均有所增长，2022 年前 8 个月，中国光伏产品出口总额约为 357.7 亿美元，同比增长 106.2%。

■■ 利用天然气调峰和替代煤炭应对能源转型中的保供挑战

化石能源的减量退出是应对气候变化、实现净零排放的重要手段。随着可再生能源在能源系统中比重的不断提升，化石能源比重进一步降低。与欧盟和美国相比，中国发展天然气代替煤炭调峰，可取得较好的减污降碳效果，并助力可再生能源发展。

在美国和欧盟一次能源消费结构中，石油和天然气比重最大，合计占比约为 70%。2021 年以来，受极端天气、俄乌冲突等因素影响，欧洲遭遇天然气供应危机，德国和英国相继宣布放缓煤电项目退出进程以应对能源危机。

IEA 在其发布的《清洁能源转型安全》报告中建议，在能源转型过程中仍需重视石油和天然气的发展。为充分发挥在能源安全方面的保障作用，应根据国家中长期战略，对包括石油、天然气、煤炭等在内的化石能源基础设施进行规划，以实现能源可持续供应，满足日益增长的能源消费需求，并避免新的基础设施因无序发展而成为搁浅资产。同时，对现有基础设施的脱碳和重新利用也有助于推进化石能源的绿色低碳转型。

与欧美不同，受资源禀赋影响，煤炭在中国能源消费中的占比最大。随着化石能源优化退出和清洁化转型的推进，煤炭在中国一次能源消费中的占比从 2015 年的 63.7% 下降至 2021 年的 54.7%，同期，化石能源消费占比也从 88% 稳步降低至 82%。按照《“十四五”可再生能源发展规划》提出的要求，化石能源比重将进一步降低，到 2025 年将降至 80%。经过多年清洁化转型行动，截至 2021 年底，中国已建成世界上规模最大的清洁高效煤电系统，实现超低排放的煤电机组超过 10 亿千瓦，节能改造规模近 9 亿千瓦，灵活性改造规模超过 1 亿千瓦。未来，煤电将在为新能源腾出电量空间的同时，对保障电力系统安全可靠发挥兜底保障作用。（王可珂 韩沁珂 杨富强）

海洋经济稳步迈向深蓝

中国城乡金融报 2023.2.3

浩瀚海洋蕴藏无限机遇。党的二十大报告提出，“发展海洋经济，保护海洋生态环境，加强建设海洋强国”。在去年底举办的全球海洋中心城市论坛上，发展海洋经济引发热议。海洋经济的发展，离不开金融的支持与助力，发展涉海业务对金融业也是时势所需。

海洋是高质量发展战略要地，蕴藏着重要的战略资源，海洋经济已经成为新的全球经济增长点。随着我国深度参与全球海洋治理和共建蓝色伙伴关系、21 世纪海上丝绸之路，以及深远海关键技术与瓶颈的突破，都将为海洋经济发展开辟新的空间。

海洋经济是现代经济发展的重要动力源。充分挖掘与发挥丰富的蓝色资源优势、发展海洋经济，对我国乃至人类发展具有重大战略意义。我国拥有漫长的大陆海岸线、广阔的海域面积，海洋资源禀赋丰裕。在新发展阶段、陆地资源稀缺的背景下，加快陆海统筹、开发蓝色疆土、推进向海图强尤显重要。这也是党的二十大报告再次强调“发展海洋经济、加快建设海洋强国”的主要原因。

内涵丰富多样

海洋经济指开发、利用和保护海洋的各类产业活动，以及与之相关联活动的总和。根据海洋经济活动的性质，可将海洋经济划分为三个层次、5 个产业类别。

海洋经济核心层包括海洋产业 1 个类别，涵盖海洋交通运输业、海洋渔业、海洋旅游业、海水淡化与综合利用业等 15 个大类。海洋经济支撑层包括海洋科研教育、海洋公共管理服务 2 个类别，前者包含海洋科学研究、海洋研究 2 个大类，后者包含海洋管理、海洋技术服务、海洋信息服务等 6 个大类。海洋经济外围层包括海洋上游相关产业、海洋下游相关

产业 2 个类别，分别包含涉海设备制造、涉海材料制造 2 个大类和涉海产品再加工、海洋产品批发与零售、涉海经济服务 3 个大类。

自党的十八大报告首次提出海洋强国战略以来，我国海洋经济加快推进调整升级，稳定持续健康发展。生产总值方面，2021 年我国海洋生产总值首次突破 9 万亿元，达 90385 亿元，较 2012 年的 50087 亿元增长逾 80%。战略协同方面，海洋强国与生态文明建设、“一带一路”倡议、科技强国、人类命运共同体等重大战略融合互促，取得了明显的协同效应。新兴产业方面，我国自主研发的海洋药物占全球已上市品类约 30%。我国自主研发的兆瓦级潮流能发电机组连续运行时间保持世界领先，2021 年海上风电新增并网容量 1690 万千瓦，是 2020 年的 5.5 倍。2020 年海水淡化工程规模达 165 万吨/日，较 2012 年增长 114%。

迎来发展机遇

在党的十八大报告提出和党的十九大报告强调建设海洋强国基础上，党的二十大报告再次强调“发展海洋经济，保护海洋生态环境，加快建设海洋强国”，海洋经济发展迎来新机遇。

建设海洋强国将加大对涉海活动的人、财、物的支持力度（尤其是保护海洋生态环境和生态文明建设方面），有利于海洋经济扩大再生产、产业结构优化及资源环境保护。作为海洋强国的重要任务，海洋核心装备和关键技术、深海矿产开发、海洋观测监测传感器、海洋生物技术等科技创新将进一步加快，可为海洋经济持续增长及新兴产业培育，推动海洋经济转型升级提供强大支撑。海洋强国的重要内涵是高水平对外开放，通过巩固东部沿海地区开放先导地位、加快建设西部陆海新通道和海南自由贸易港、推进“一带一路”和共建海洋命运共同体、参与并支持全球海洋治理等，有利于推进陆海统筹和以陆促海、以海带陆，以及拓展海洋经济发展新空间和提升海洋经济开放度。海洋强国的重要题中之义是构建完善的现代海洋产业体系，其主要路径是促进海洋经济高质量发展和培育新兴产业，为海洋经济提质增效、持续健康发展指明了方向。党的二十大提出协同推进“减污、降碳、扩绿、增长”和积极稳妥推进“双碳”，拓展了海洋产业生态化和海洋生态产业化的转换路径，有利于促进社会主体参与海洋生态保护与修复、提升海洋经济可持续性的市场机制的形成，将为挖掘海洋生态系统碳库、加快开发海洋能源等带来良好的发展氛围。

呈现五大趋势

虽然我国海洋经济发展取得了较好成效，但也存在科技支撑不足、产业效率需提升、传统产业比重大、资源环境压力大等问题。未来，我国海洋经济高质量发展，将呈现以下趋势：

海洋经济增长更加依赖科技，涉海科技创新将提升海洋经济智慧化、信息化、数字化水平，科技对海洋经济的贡献进一步提升。

海洋新兴产业、新业态在海洋经济中的比重将显著增加，海洋工程装备制造业、海水淡化与利用业、海洋药物和生物制品业、海洋信息服务业等将加快发展，海洋可再生能源、滨

海旅游、深远海渔业等将保持稳定增长。

海洋经济发展空间将进一步拓展。随着我国深度参与全球海洋治理和共建蓝色伙伴关系、21世纪海上丝绸之路，以及深远海关键技术与瓶颈的突破，都将为海洋经济发展和开辟新的空间。

海洋经济发展将呈现多区域中心势头。自“十三五”海洋经济规划提出“推进深圳、上海等城市建设全球海洋中心城市”以来，目前，全国已有深圳、上海、广州、天津、大连、青岛、宁波、舟山、厦门等城市，提出建设全球海洋中心城市，福州提出“3820”战略推进“海上福州”建设。省级层面，山东、广东、福建、广西等多个省份，近年纷纷提出并推进向海图强、向海经济、向海而兴、经略海洋等发展思路。

海洋碳汇将成为海洋经济及其产业主体增效的重要路径，这不仅会提升海洋经济绿色成分，还将促进海洋产业与海洋生态修复、社会化活动、海洋生态文明建设等融合发展，海洋经济在促进人与自然和谐共生中的作用更加凸显。（刘子飞）

日媒文章：人工智能或使科技发生重大变化

参考消息 2023.2.15

【《日本经济新闻》2月12日文章】题：AI的目标是取得超越诺贝尔奖的科学发现（作者 永田好生）

人工智能（AI）技术正在飞速进步。能画出内行级别的插图，能撰写大学的课题报告。甚至科研人员已经开始挑战制造可用于研发活动的AI。就像由苹果掉落发现万有引力的牛顿，通过在加拉帕戈斯群岛等地的旅行提出进化论学说的达尔文一样，AI的目标是成为划时代的科学巨人。

目前的主流AI能够进行以神经回路为模型的“深度学习”。按照日本理化学研究所创新智能综合研究中心主任杉山将对现状的解读：“以往的AI如果学习到的数据较少或是质量不高，就不会具备良好的性能。不过近来已经来到能够突破这一壁垒的阶段了。”

英国深层思维公司曾因推出战胜过顶尖围棋选手的“阿尔法围棋”一战成名，在科研用AI的研究领域该公司也走在了前面。比如瞄准数学应用推出的“Alpha Tensor”将一直以来需要相乘80次的矩阵计算降至76次，找到了更优的相乘次数，相关成果也已经发表在2022年出版的英国《自然》周刊上。

2021年，深层思维公司在“结绳理论”领域取得的研究成果也刊载在了《自然》周刊上。与大学中的数学家合作，该公司使用AI成功找到了被人类遗漏的关系式。中部大学教授荒井迅表示：“以与计算机的适配度作为对象，巧妙地利用了AI，这种研究今后可能会越来越多。”

如果想要进一步加快科研速度，仅靠深度学习是不够的。日本科学技术振兴机构负责调研AI发展动向的福岛俊一研究员指出：“能够自主推理的功能将成为下一步AI研发的关键。”

“巧克力消费量越多的国家，每 1000 万人口获得诺贝尔奖的人数就越多。”2012 年某医学期刊刊登的一篇文章曾经引发热议。把数据制成图表后就会发现二者之间存在相关性。但是为什么会形成这种相关性，道理还不甚明了。

由 AI 找到隐藏的因果关系，也就是“因果推理”是目前最热门的研究课题。杉山主任说：“目前正处在热烈讨论哪种方法更好的阶段，我想总有一天会想出好办法的。”

科学飞跃式发展之时出现的推理被称为“溯因推理”。美国哲学家查尔斯·桑德斯·皮尔斯举出的代表性例子有根据海岸线的形状提出的魏格纳的大陆漂移学说、沃森和克里克的 DNA 双螺旋模型。至于 AI 能否做出这样的推理，目前研究者的意见还存在分歧。

中部大学教授津田一郎属于谨慎的一派。他认为：“人类不停地思考，总在意想不到的时刻灵光乍现。无意识情况下工作的大脑其不可思议的机制依然迷雾重重，如何通过 AI 呈现现在还毫无头绪。”

众多 AI 研究者认为，即便 AI 与人脑的机制不同，只要能够找到类似手法，人工智能就能掌握与溯因、或者说反推类似的能力。虽然不是用于科学研究，但用于学习语言、声音、静止画面、动画等大量数据的最新型 AI 的“基础模型”能够在语音指导下熟练作画。

但是失败也在所难免。美国元宇宙平台公司 2022 年发布了能够帮助撰写科学论文的 Galactica 语言模型，随即因为“写出错误的文章”而受到批评，仅运行 3 天就遭下架。具体原因虽然不清楚，但有分析认为，可能是因为“学习的数据质量低劣”或是“用来生成答案时使用的算法有误”。

用于科研活动的 AI 也将在其研发过程中带动广泛领域的发展。索尼计算机科学研究所社长北野宏明在 2016 年就提出了“2050 年前研发出能够超越诺贝尔级别科学发现的 AI”的目标，英国艾伦·图灵研究所等机构也对此表示认同。

虽然无法预测目标何时能够实现，但随着 AI 的进步，科学研究的面貌极有可能发生重大变化。

中共中央 国务院印发《质量强国建设纲要》

国家电网报 2023.2.7

央视网消息（新闻联播）中共中央、国务院近日印发《质量强国建设纲要》。

《纲要》指出，建设质量强国是推动高质量发展、促进我国经济由大向强转变的重要举措，是满足人民美好生活需要的重要途径。当今世界正经历百年未有之大变局，新一轮科技革命和产业变革深入发展，引发质量理念、机制、实践的深刻变革。面对新形势新要求，必须把推动发展的立足点转到提高质量和效益上来，培育以技术、标准、品牌、质量、服务等为核心的经济发展新优势，推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变，坚定不移推进质量强国建设。

《纲要》提出的主要目标是，到 2025 年，质量整体水平进一步全面提高，中国品牌影

响力稳步提升，人民群众质量获得感、满意度明显增强，质量推动经济社会发展的作用更加突出，质量强国建设取得阶段性成效。经济发展质量效益明显提升。产业质量竞争力持续增强。产品、工程、服务质量水平显著提升。品牌建设取得更大进展。质量基础设施更加现代高效。质量治理体系更加完善。到 2035 年，质量强国建设基础更加牢固，先进质量文化蔚然成风，质量和品牌综合实力达到更高水平。

《纲要》还从推动经济质量效益型发展、增强产业质量竞争力、加快产品质量提档升级、提升建设工程品质、增加优质服务供给等方面提出了要求。

我国可再生能源装机突破 12 亿千瓦

科技日报 2023.2.14

科技日报北京 2 月 13 日电（记者刘园园）“截至 2022 年底，可再生能源装机突破 12 亿千瓦，达到 12.13 亿千瓦，占全国发电总装机的 47.3%，较 2021 年提高 2.5 个百分点。”在 2 月 13 日举行的国家能源局例行新闻发布会上，国家能源局新能源和可再生能源司副司长王大鹏介绍。

据介绍，截至 2022 年底，在全国可再生能源装机中，风电 3.65 亿千瓦、太阳能发电 3.93 亿千瓦、生物质发电 0.41 亿千瓦、常规水电 3.68 亿千瓦、抽水蓄能 0.45 亿千瓦。

王大鹏表示，2022 年，全国风电、光伏发电新增装机突破 1.2 亿千瓦，达到 1.25 亿千瓦，连续三年突破 1 亿千瓦，再创历史新高。全年可再生能源新增装机 1.52 亿千瓦，占全国新增发电装机的 76.2%，已成为我国电力新增装机的主体。其中风电新增 3763 万千瓦、太阳能发电新增 8741 万千瓦、生物质发电新增 334 万千瓦、常规水电新增 1507 万千瓦、抽水蓄能新增 880 万千瓦。

从可再生能源发电量来看，2022 年，我国可再生能源发电量达到 2.7 万亿千瓦时，占全社会用电量的 31.6%，较 2021 年提高 1.7 个百分点，可再生能源在保障能源供应方面发挥的作用越来越明显。

“全球新能源产业重心进一步向中国转移，我国生产的光伏组件、风力发电机、齿轮箱等关键零部件占全球市场份额 70%。”王大鹏说，同时，我国可再生能源发展为全球减排作出积极贡献，2022 年我国可再生能源发电量相当于减少国内二氧化碳排放约 22.6 亿吨，出口的风电光伏产品为其他国家减排二氧化碳约 5.73 亿吨，合计减排 28.3 亿吨，约占全球同期可再生能源折算碳减排量的 41%。

对 2023 年在可再生能源领域拟推动的重点工作，王大鹏提到，将进一步推动风电光伏技术创新和发展模式创新；围绕可再生能源发展的新形势新要求，推动可再生能源法修订；进一步完善可再生能源绿色电力证书制度，建立基于绿证的可再生能源电力消纳保障机制；围绕能源清洁低碳高效利用，加快在工业、交通和住建等领域可再生能源替代；围绕构建新型能源体系，大力推动可再生能源重大工程等。

全球低碳能源技术投资首次突破一万亿美元

中国能源报 2023.2.13

本报讯 根据彭博新能源财经发布的最新报告，随着能源危机和各国政策举措推动了清洁能源技术更快速地部署，2022年，全球低碳能源转型投资总额达到1.1万亿美元，开创了新纪录。同时，低碳技术投资首次达到与支持化石燃料供应所用资金相当的水平。

据了解，该报告是彭博新能源财经对企业、金融机构、政府和终端用户投入低碳能源转型资金进行的年度审核报告。报告涵盖的所有行业几乎都在2022年实现了创纪录的投资水平，包括可再生能源、储能、电气化运输、电气化供暖、碳捕集与封存、氢能和可持续材料。只有核电投资基本持平。

报告显示，2022年，包括风电、光伏、生物燃料在内的可再生能源板块仍是低碳能源技术最大的投资领域，承诺投资金额创纪录地达到4950亿美元，较上年增长17%。与此同时，包括新能源汽车及相关基础设施在内的电气化运输在2022年获得的投资达4660亿美元，同比增长54%，投资总量几乎超过可再生能源领域。

不过，值得注意的是，尽管私营部门兴趣浓厚、政策支持也在不断增长，但氢能领域在2022年获得的资金承诺最少，仅为11亿美元，占总额的0.1%。但氢能是增长最快的领域，投资较上年增长了3倍以上。

彭博新能源财经表示，中国迄今在全球范围内吸引到的能源转型投资最多，达5460亿美元，占全球投资总额的近一半。美国虽位列第二，但仅有1410亿美元。欧盟如果被视为一个整体，则会以1800亿美元位列第二。德国继续位列第三，英国降至第五，而法国升至第四。

报告还对全球化石燃料投资进行了自上而下的预测，包括上游、中游、下游及未减排化石能源发电，预计2022年为1.1万亿美元，与能源转型投资总额相同。这是全球能源转型投资首次与化石燃料投资相当。

彭博新能源财经全球分析负责人表示：“调查结果平息了关于能源危机将如何影响清洁能源部署的全部争论。随着世界各国和企业继续实施能源转型计划，能源转型投资并未放缓，反而飙升至历史新纪录。清洁能源技术投资即将超过化石燃料投资，这些投资将推动短期就业机会的产生，并有助于实现中期能源安全目标。不过，要实现长期净零目标，还需要更多的投资。”

尽管2020年取得了令人瞩目的成果，但全球低碳技术投资仍然远远低于应对气候变化所需的资金。根据彭博新能源财经的预测，为了推动全球进入实现2050年“净零”排放目标的正轨，相关投资必须立即达到当前的3倍，即当前至2030年期间，全球平均每年必须投资4.55万亿美元用于能源转型。

报告还发现，气候技术公司2022年的融资总额达1190亿美元。这类投资（未包括在上

述 1.1 万亿美元中) 涵盖了气候技术领域公司从公开市场或私人投资者筹集的新股权融资。这一数字较上年下降 29%，完全是由于过去一年全球股票市场充满挑战、公开股票发行有所下跌造成的。尽管市场动荡，但风险资本和私募股权融资仍保持良好，同比增长了 3%。

此外，该报告还显示，清洁能源技术制造设施投资从 2021 年的 526 亿美元，增加到 2022 年的 787 亿美元。电池及相关元件制造设施占比最大，达 454 亿美元，而光伏工厂则吸引了 239 亿美元。

彭博新能源财经预测，2023 至 2026 年间，清洁能源技术制造设施的投资每年平均只需达到 350 亿美元即可走上实现净零排放情景的正轨。彭博新能源财经贸易和供应链研究负责人安东尼·琼斯表示：“清洁能源技术的产能不太可能成为实现净零目标的主要瓶颈。然而，从供应链多元化的角度来看，情况并没有发生很大变化。迄今为止，中国在建立清洁能源供应链方面的投资最多，而其他地区能否占据相当的市场份额仍有待观察。”（穆紫）

2023 年中央一号文件公布

推进农村电网巩固提升 发展农村可再生能源

中国电力报 2023.2.15

本报讯（记者 苏伟） 21 世纪以来第 20 个指导“三农”工作的中央一号文件 2 月 13 日发布。

这份文件题为《中共中央国务院关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，全文共 9 个部分，包括：抓紧抓好粮食和重要农产品稳产保供、加强农业基础设施建设、强化农业科技和装备支撑、巩固拓展脱贫攻坚成果、推动乡村产业高质量发展、拓宽农民增收致富渠道、扎实推进宜居宜业和美乡村建设、健全党组织领导的乡村治理体系、强化政策保障和体制机制创新。

文件提出，鼓励有条件的地区开展新能源汽车和绿色智能家电下乡；推进农村电网巩固提升，发展农村可再生能源；推动县域供电、供气、电信、邮政等普遍服务类设施城乡统筹建设和管护；扎实推进重大水利工程建设，加快构建国家水网骨干网络；加快农业投入品减量增效技术推广应用，推进水肥一体化，建立健全秸秆、农膜、农药包装废弃物、畜禽粪污等农业废弃物收集利用处理体系；建立农业生态环境保护监测制度；出台生态保护补偿条例；推动农村生活垃圾源头分类减量，及时清运处置；推进厕所粪污、易腐烂垃圾、有机废弃物就近就地资源化利用。

中央农村工作领导小组办公室有关负责人表示，要全面贯彻落实党的二十大精神，深入贯彻落实习近平总书记关于“三农”工作的重要论述，全面落实乡村振兴责任制，真抓实干做好 2023 年重点工作，不折不扣完成好既定目标任务，推动全面推进乡村振兴不断取得新进展、农业强国建设开好局起好步。

2022 年全国能源保供能力稳步提升

清洁能源发电同比增长 5.3%

国家电网报 2023.2.7

国家统计局近日发布的数据显示，2022 年，全国规模以上工业发电量 8.4 万亿千瓦时，比上年增长 2.2%。其中，火电增长 0.9%；水电、核电、风电和太阳能发电等清洁能源发电增长 5.3%，占全部发电量比重比上年提高 0.9 个百分点。

国家统计局能源统计司司长胡汉舟介绍，2022 年，中国着力增强能源生产保障能力，充分发挥煤炭主体能源作用，不断提升油气勘探开发力度，大力发展多元清洁供电体系，有力保障了经济社会稳定发展和持续增长的民生用能需求。

看原煤生产情况。2022 年，全国原煤生产实现较快增长，产量创历史新高。数据显示，去年全国规模以上工业原煤产量达 45 亿吨，比上年增长 9%，增速比上年加快 4.3 个百分点。

原油产量继续回升，天然气持续增产。2022 年，油气生产企业持续加强勘探开发和增储上产，提升油气自给能力。全国规模以上工业原油产量 20467 万吨，比上年增长 2.9%，2016 年以来首次回升至 2 亿吨以上；天然气产量 2178 亿立方米，比上年增长 6.4%，连续 6 年增产超 100 亿立方米。

能源保供能力稳步提升的同时，能源消费结构也在持续优化。胡汉舟介绍，初步测算，2022 年能源消费总量比上年增长 2.9%。非化石能源消费占能源消费总量比重较上年提高 0.8 个百分点，煤炭比重提高 0.2 个百分点，石油比重下降 0.6 个百分点，天然气比重下降 0.4 个百分点。（记者 廖睿灵）

国家能源署：未来三年全球电力需求将加速增长

中国信息报 2023.2.15

本报讯 国际能源署近日发布的《2023 年电力市场报告》说，2023 至 2025 年全球电力需求增长将加速至年均 3%，增长主要来自亚洲地区。可再生能源将主导全球电力供应增长，与核能一起满足绝大部分电力需求增量。

《报告》指出，受能源危机和部分地区异常天气条件影响，2022 年全球电力需求增幅放缓至 2%，低于新冠疫情前水平。受能源价格飙升影响，2022 年欧盟用电需求同比下降 3.5%。受经济强劲复苏及夏季高温天气影响，印度电力消耗增长 8.4%。需求增长 2.6%。

《报告》预计，未来 3 年全球电力需求增长将加速至年均 3%，其中 70% 以上需求增长将来自部分亚洲地区。

国际能源署署长法提赫·比罗尔表示，全球电力需求增长势必加速，不过可再生能源和核能的增长速度可满足几乎全部新增需求。（刘芳）

新能源高比例发展尚需多方发力

中国电力报 2023.2.16

核心提要

● 新能源的大规模、高比例发展需把握转型节奏，统筹考虑“能源安全性、可持续性、经济可承受性”三要素来构建更系统、更稳妥的发展路径

● 合理的新能源利用率需进一步研究，过高的新能源利用率或导致系统附加成本快速上升，应找到一个技术经济最优的平衡点

● 要优化碳达峰时序、碳中和节奏来扩大动态平衡的裕度空间，最大程度降低保障能源安全和控制能源成本的压力

“目前国际形势、国内环境和气候条件等都在发生变化，新能源的大规模、高比例发展不能一蹴而就。需要把握转型节奏，统筹考虑‘能源安全性、可持续性、经济可承受性’三要素来构建更系统、更稳妥的发展路径。”国网能源研究院新能源与统计研究所所长李琼慧表示。中国能源研究会与自然资源保护协会（NRDC）日前共同推出“新型电力系统沙龙”系列活动，就新能源的大规模高比例开发利用进行研讨。

新能源开发利用需统筹考虑多重因素

“构建新型电力系统的本质是实现新能源对传统能源的逐步替代。”中国能源研究会能源政策研究中心主任林卫斌表示。

党的二十大报告提出，立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。这充分体现了党中央对能源转型和能源安全的高度重视，为新能源高质量发展指明了前进方向。

林卫斌认为，2030年前主要做增量上的替代，2030年后是存量的替代，预计2040年新能源发电量超过煤电，成为第一大主体电源，新型电力系统初步建成。

“在面向2060年新能源发电量超过60%的过程中，需要重点关注可行的技术路径、社会效益等问题，尤其是风电与光伏的发展路径，风光等新能源与传统煤电配CCS的技术选择等。”林卫斌表示。

此外，为积极应对大规模高比例新能源高速发展，未来10年将是新型储能发展的窗口期，加快新型储能产业布局备受关注。

“未来高比例新能源电力系统中，储能与需求侧资源将逐步成为平衡备用的主力来源，传统电源不具备比较优势。”李琼慧指出。

对此，与会专家表示，未来新型储能发展配置时长将由“十四五”时期的2~4小时逐步延长至6~8小时；新型储能将大规模发展，一部分用于电源侧，推动“新能源+储能”绿色友好电源发展，另一部分布局在电网侧，发挥电力支撑作用。

新能源对电力系统支撑能力有待提升

记者了解到，目前高比例新能源接入增加了电力系统安全稳定运行难度，一是高比例新能源出力随机性、间歇性增加系统日内调节和跨季度调节困难；二是新能源出力和用电负荷特性不匹配增加系统保供难度，尤其在极端气候条件下的保供困难突出；三是新能源电力电子属性导致电力系统安全稳定运行风险增加。

“不同于欧美国家在达到基本饱和用电量情形下去发展新能源，我国是在电力需求刚性高速增长的情形下去发展新能源，能源系统面临巨大挑战。”电力规划设计总院清洁能源研究院副院长饶建业表示。

目前，我国能源安全新旧风险交织，油气资源短板仍然突出，转型过程中电力、煤炭区域性时段性紧张风险凸显，极端条件下能源供应保障不确定因素增加，电力系统运行控制难度不断加大。

“发展新能源是实现能源本质安全的主要选择。但将新能源转化为稳定电力供应的技术体系尚未形成，在发展空间、并网送出、安全运行、高效消纳、经济性等方面存在诸多挑战。”水电水利规划设计总院综合能源部主任工程师李少彦认为。

“电力安全保供压力仍然很大。2021年，由于负荷的超预期增长及极端天气，导致我国19个省（区、市）启动有序用电。按照装机平衡考虑，结合当前电源、电网工程投产进度，预计今年电力供需紧张、供需偏紧的情况仍会出现。”饶建业认为。

数据显示，现阶段我国新能源可靠替代尚未形成。近年来，我国新能源装机占比和电量占比均显著提升，但新能源电力支撑能力不足，对电力保供的贡献度相对较小。2021年，我国新能源装机占比27%，发电量占比12%，参与电力平衡占比2%。现阶段仍然主要依靠煤电等可靠、可控电源发挥电力支撑保供作用。

饶建业分析，首先应尽可能发挥新能源的系统作用，目前虽然新能源装机占比显著提升，但对电力系统的支撑能力不足，对电力保供的贡献度较小。其次，合理的新能源利用率需要进一步研究，过高的新能源利用率会导致系统附加成本快速上升，应该找到一个技术经济最优的平衡点。

新能源高比例发展成本、空间、机制问题备受关注

相关行业研究表明，2021~2030年，新能源开发采用“优化开发时序”相比“无序开发”模式，电力供应成本上升幅度可降低约1.6个百分点。

“保障能源安全、推进‘双碳’目标在相当长时间内是需要付出经济代价的。要优化碳达峰时序、碳中和节奏来扩大动态平衡的裕度空间，最大程度降低保障能源安全和控制能源成本的压力。”李琼慧指出，如果说能源安全和能源环境目标具有刚性和倒逼的特质，那么能源成本的目标将不得不保持在一定的弹性区间。唯有如此，才有可能达到能源三要素的动态平衡。

据了解，“十四五”期间，我国新能源装机规模有望翻番，尽管新能源本体发电成本可实现平价，但其消纳的系统成本将大幅升高。在国际方面，可再生能源的迅猛发展大幅推高

了用电价格。德国近 20 年居民电价上涨 90%，平均销售电价上涨 23%；英国近 15 年居民电价上涨 60%，平均销售电价上涨 51%。按照新能源电量渗透率提升至 30% 测算，我国电力供应成本将提高约 10%。

“注重从电力系统的整体考虑新能源消纳的系统成本，加强新能源规划与电力系统规划的协调，避免大幅推高电力供应成本。”李琼慧表示。

“新能源高比例发展需要兼顾成本和效率，保持合理的消纳是可行的选择。”自然资源保护协会清洁电力高级顾问王万兴认为。

在新能源消纳方面，李少彦表示，确定合理的新能源利用率指标很关键。以某省区为例的分析显示，将其新能源利用率控制指标从 100% 降低到 94%，新能源装机容量可翻一番。

在发展空间方面，新能源能量密度低，高度依赖土地。对此，李少彦指出，相较百万千瓦火电厂用地约 800 亩，同规模的光伏电站占地 2.5 万亩到 3 万亩、风电场用地 2000 亩（外包络线 15 万亩），新能源发展面临的土地约束开始显现。为此，应首先在国土空间规划中预留出新能源发展空间，同时探索开发场地融合、多样化场景的发展模式。

自然资源部等三部门早前印发的《关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》提出，零星分布的已有水电、风电、光伏、海洋能设施，按照相关法律法规进行管理，严禁扩大现有规模与范围，项目到期后由建设单位负责做好生态修复。可以看出，国家明确了新能源大规模更高比例发展必须考虑土地资源的承载能力。对此，李琼慧建议，应协调考虑新能源的消纳和保供问题，考虑新能源大规模开发利用与区域环境承载力的冲突，通过市场机制来保证新能源的竞争力，构建电力供应安全评估监测机制，并针对高比例新能源特点配置备用资源。（余璇）

充分借鉴欧盟能源转型的经验教训

中国电力报 2023.2.16

气候变化与能源转型取得显著成效

- ◆ 可再生能源消费与电量占比持续提升
- ◆ 能源效率全球领先
- ◆ 碳排放基本呈下降趋势

能源转型面临供应危机

◆ 受新能源补贴疏导、系统成本及碳价提高影响，终端电价持续上涨，加重居民生活负担，影响制造业发展

具体举措

- ◆ 将特定条件下生产的核能和天然气列为“绿色能源”
- ◆ 为保障能源安全和摆脱对俄罗斯的天然气依赖，部分成员国宣布推迟燃煤电厂退役并重启燃煤电厂

◆加快可再生能源、氢能发展与技术突破，深度替代化石能源

历经几十年的发展，欧盟应对气候变化与能源转型政策持续完善和强化，能源结构调整与碳减排取得了显著的成绩。然而，激进的能源转型过程也带来了一些负面影响。在此背景下，欧盟调控能源转型节奏，将特定条件下的核能和天然气列为“绿色能源”，重新启用燃煤发电。本文分析了欧盟能源转型取得的经验与教训，为我国制定能源电力转型路径提供参考。

欧盟能源转型遭遇供应危机

在近 30 年的努力下，欧盟应对气候变化与能源转型取得显著成效。一是欧盟可再生能源消费与电量占比持续提升。二是欧盟能源效率处于世界领先水平。三是欧盟碳排放基本呈下降趋势，实现了经济增长与能源消费和碳排放脱钩。

但与此同时，欧盟能源转型也给经济社会发展带来了一些不利影响。经济方面，受新能源补贴疏导、系统成本及碳价提高影响，终端电价持续上涨，加重居民生活负担，影响电价敏感的制造业、特别是中小企业竞争力，同时也增大了国民经济运行的通胀压力。德国中央合作银行对德国中小企业的一项调查发现，多家公司负责人认为电价上涨对其业务构成了威胁。叠加疫情冲击，欧盟激进的能源转型带来的不利影响扩大为供应短缺。例如，2021 年下半年，欧洲多国天然气、电力价格大幅上涨，化肥、铝等行业多家企业被迫停工停产，数十家能源和供电企业破产。

分析欧洲电力供应危机的原因，一是经济总体复苏，带动能源电力需求较快增长。2021 年全球经济增长 5.9%，天然气消费量同比增长约 4.6%，叠加 2020 年冷冬，欧洲消耗了大量天然气库存。从用电数据看，全球电力消费同比增长 6%，创有史以来最大增幅，欧盟电力消费增长恢复至 2019 年同期水平。二是化石能源投资持续疲软，传统能源发电装机快速减退，供给能力短期内难以恢复。此前，欧盟成员国提出阻止化石能源基础设施投资，欧洲投资银行提出于 2021 年底将终止对化石能源项目投融资。传统能源发电方面，欧洲已有多个国家宣布退煤、退核计划。三是新能源渗透率持续提高但出力不稳定，难以承担电力保供重任。与此同时，俄乌冲突进一步延续，加剧了欧盟能源电力价格高涨现象。2022 年 3 月 3 日，荷兰 TTF（欧洲基准天然气价格）收盘价达到 147.5 欧元/兆瓦时，突破了 2021 年能源危机时创下的历史高位。2022 年 3 月初，德国、法国、比利时和荷兰电价一度达到 483 欧元/兆瓦时。欧洲市场对俄罗斯天然气断供的恐慌是引起价格上涨的直接原因。欧盟天然气占一次能源消费比重达到 25%，但天然气对外依存度较高且进口分布集中。从深层原因来看，较高的一次能源对外依存度已成为制约欧盟能源安全的重要短板。

欧盟对能源转型路径的新调整

持续的供应短缺使得欧盟政府深刻意识到在任何问题面前，保障能源电力安全稳定供应都是第一要务，欧盟对能源转型的政策取向也随之调整。总体来看，近期，欧盟认识到无法立刻摆脱传统能源体系，能源政策取向从以应对气候变化为主转变为以保障能源安全为主。

同时，为摆脱对俄罗斯的天然气进口依赖，努力提升进口多元化水平。中远期，通过加快可再生能源、氢能发展与技术突破，深度替代化石能源，实现清洁能源的安全稳定供应。

具体来看，欧盟对能源转型的反思与调整主要体现在暂缓淘汰传统能源的进程上。天然气发电与核电方面，在能源危机与俄乌冲突发生之前，欧盟内部对二者在能源转型中的定位就存在分歧与争论。法国、捷克和芬兰等核电占比较高的国家认为，核能对于逐步淘汰燃煤发电、实现 2050 年碳中和至关重要，是保障电力可靠供应和能源独立的核心，不想再参与单纯依靠可再生能源的德国式激进能源转型。德国则凭借在可再生能源方面的全面领先优势，对核电持反对态度，认为核电带来了放射性废物储存等一系列安全问题。关于天然气，支持方认为天然气碳排放约为煤炭的一半，应该在向可再生能源转型的过渡期发挥更大作用，丹麦等少数反对国家则认为应该直接聚焦可再生能源发展，支持新建气电只会延长化石能源发电的寿命。

经过激烈争论，在能源危机与政治博弈等因素的推动下，欧盟委员会早前发布提案，将特定条件下生产的核能和天然气列为“绿色能源”，纳入《欧盟可持续金融分类方案》，由此获得“绿色投资”。目前，欧盟内部已针对该提案初步达成一致，欧盟委员会指出，“考虑到科学建议和当前技术进步，以及成员国之间不同的转型挑战，委员会认为在未来向可再生能源时代转型期间，天然气和核能还能够发挥一定的作用，有必要认识到，天然气和核能行业可以为欧盟实现经济脱碳作出贡献。”煤炭与煤电方面，俄乌冲突发生后，欧盟表示为保障能源安全和摆脱对俄罗斯的天然气依赖，需要暂时恢复使用煤炭，部分成员国宣布推迟燃煤电厂退役，重启燃煤电厂。例如，德国早前宣布将建立战略煤炭储备，考虑重启退役燃煤电厂，扩大储备电厂使用，推迟部分电厂退役计划。

欧盟能源转型对我国的启示

欧盟推动能源转型以来，能源消费总量基本进入了平台期。相比之下，相当长时期内我国经济增长难以与能源消费增长脱钩，能源消费总量还有较大刚性增长空间。从人均能源消费来看，我国与发达国家相比也有较大差距，按能源消费总量峰值 60 亿吨标准煤计算，我国人均能源消费约为 4 吨标准煤，美国、日本能源消费总量达峰时人均能源消费分别为 11 吨、6 吨标准煤。综合考虑上述因素，相当长时期内我国经济增长难以与能源消费增长脱钩，能源消费总量还有较大刚性增长空间。

相较于欧盟来说，我国能源发展现状与未来趋势注定了转型过程具有时间紧、任务重、挑战大的特点，有必要从欧盟能源转型发展历程中吸取经验与教训，少走弯路。

一是能源转型是一项多重目标、多重约束下长期复杂的系统性工程，需要统筹处理好发展和减排、降碳和安全、整体和局部、政府和市场、国内和国际等多方面多维度关系，循序渐进地走中国特色能源转型道路。

二是保障能源安全必须立足国情、力求自主可控。我国煤炭资源丰富，保障能源供应自主可控、实现“双碳”目标，必须立足我国能源以煤为基础、国内供应为主的基本国情，

统筹协调发展和利用好各类能源，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

三是加强国际油气进口多元化。尽力避免一线独大和一国独大。积极寻求海上通道原油和 LNG 进口多元化，将主要进口国份额控制在合理范围内。

“十四五” 新能源产业发展任重道远

中国电力报 2023.2.21

核心提要

●“十四五” 可再生能源高质量跃升发展任务艰巨，亟待完善相关的土地、财政、金融等支持政策，强化政策协同保障

●2022 年以来，可再生能源补贴问题屡次出现在国家相关部门的政策文件中，可再生能源补贴拖欠问题，有望迎来解决转机

●随着相关完善政策的落实及监管措施落地，分布式光伏有望破解阶段性难题，步入高质量发展新阶段

2 月 13 日国家能源局新闻发布会上的数据显示，2022 年我国风电、光伏发电量突破 1 万亿千瓦时，达到 1.19 万亿千瓦时，接近全国城乡居民生活用电量。“十四五” 时期，我国可再生能源将进一步引领能源生产和消费革命的主流方向，发挥能源绿色低碳转型的主导作用，为实现碳达峰碳中和目标提供主力支撑。

“十四五” 新能源发展呈现新特征

2022 年 6 月 1 日，国家发展改革委、国家能源局等九部门联合发布《“十四五” 可再生能源发展规划》（以下简称《规划》）。《规划》提出，要大规模开发并高效利用可再生能源，加快培育新模式新业态。到 2025 年，可再生能源消费总量达到 10 亿吨标准煤左右，占一次能源消费的 18% 左右；可再生能源年发电量达到 3.3 万亿千瓦时左右，风电和太阳能发电量实现翻倍；全国可再生能源电力总量和非水电消纳责任权重分别达到 33% 和 18% 左右，利用率保持在合理水平；太阳能热利用、地热能供暖、生物质供热、生物质燃料等非电利用规模达到 6000 万吨标准煤以上。《规划》首次采取九部门联合印发形式，体现出可再生能源利用要实现“既大规模开发、也高水平消纳、更保障电力稳定可靠供应”，必须依赖于能源、财政、自然资源、生态环境、住建、农业农村等主管部门之间的协同机制。

“双碳” 背景下，新能源高质量跃升发展任务艰巨，对资源详查、用地用海、气象服务、生态环境、财政金融等方面提出了新的更高要求，亟待完善可再生能源发展相关的土地、财政、金融等支持政策，强化政策协同保障。

“十四五” 时期，新能源发展将呈现新特征：一是大规模发展，在跨越式发展基础上，进一步加快提高发电装机占比；二是高比例发展，由能源电力消费增量补充转为增量主体，在能源电力消费中的占比快速提升；三是市场化发展，由补贴支撑发展转为平价低价发展，由政策驱动发展转为市场驱动发展；四是高质量发展，既大规模开发，也高水平消纳，更保

障电力稳定可靠供应。

可再生能源欠补问题有望迎来“活水”

自2021年起，新核准的陆上风电项目和光伏项目全面实现平价上网，国家不再补贴；自2022年起，新核准海上风电项目国家不再补贴，风电光伏国家补贴总需求基本收口。随着时间日积月累，可再生能源补贴缺口不断扩大，补贴发放问题，已经成为阻碍可再生能源产业高质量发展的陈年顽疾。根据中国可再生能源学会风能专委会粗略测算，综合各项因素，截至2021年底，拖欠补贴累计约4000亿元。

2022年以来，可再生能源补贴问题屡次出现在国家相关部门的政策文件中，可再生能源补贴拖欠问题有望迎来解决转机。《国家电网有限公司关于2022年年度预算第一次可再生能源电价附加补助资金拨付情况的公告》显示，财政部共预计拨付公司可再生能源电价附加补助资金年度预算约339亿元。其中，风力发电约105亿元、太阳能发电约260亿元、生物质能发电约33.5亿元。2022年8月，由电网公司牵头设立两大结算公司，以期解开补贴拖欠的“死结”。随着补贴下发，可再生能源欠补迎来“活水”，相关“风光”公司应收账款压力将缓解。

未来，随着补贴资金缺口问题逐步解决，可再生能源发电企业的经营状况将得到改善，现金流压力得到缓解，企业长线投资能力增强，行业发展形成良性循环。

2022年5月，国务院办公厅转发国家发展改革委、国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，围绕新能源发展的难点、堵点问题，在创新开发利用模式、构建新型电力系统、深化“放管服”改革、支持引导产业健康发展、保障合理空间需求、充分发挥生态环境保护效益、完善财政金融政策七个方面完善政策措施，还从利用好各类专项基金和创新丰富绿色金融方面，提出支持新能源发展的财政金融举措。

分布式光伏发展前景广阔，但仍需破解阶段性难题

“十四五”期间，“整县推进”和“大基地”将很大程度决定光伏开发规模与竞争格局，无数企业将围绕这两大关键词展开激烈角逐。“双碳”背景下，光伏发展前景广阔。

2022年6月29日，工信部等六部门联合发布的《工业能效提升行动计划》提出，支持具备条件的工业企业、工业园区建设工业绿色微电网，加快分布式光伏、分散式风电、高效热泵、余热余压利用、智慧能源管控等一体化系统开发运行，推进多能高效互补利用。鼓励通过电力市场购买绿色电力，就近大规模高比例利用可再生能源。推动智能光伏创新升级和行业特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。为加快推进屋顶分布式光伏发展，国家能源局于2021年6月下发了《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》。同年9月14日，国家能源局正式印发《关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单的通知》，全国共有676个整县（市、区），被列为屋顶分布式光伏开发试点。目前，已有浙江、江苏、海南、山东、河北、江西等多地正式下发了整县（市、区）屋顶分布式光伏的相关政策。

据2022年11月发布的《2022中国分布式光伏行业发展白皮书》，在“双碳”目标引领下，2022年我国分布式光伏市场更加强劲发展。2022年1~9月，我国分布式光伏新增装机35.3吉瓦，与2021年同期相比增长115%。从发展模式上来看，“整县推进”对2022年国内分布式光伏市场影响深远，促使更多的企业、资金进入分布式光伏领域。从市场主体上看，越来越多的央企、国企成立能源投资公司，利用已有资源、资金优势，大举进入全国分布式光伏市场。

但是，整县推进带来分布式的整体爆发，并不仅仅是前景光明，在产业各方大力推动分布式光伏发展进入快车道的同时，产业仍面临诸多的困难、挑战甚至隐患。如何平衡政府统筹与市场经济之间的博弈仍是难题，政府、用户、投资商、安装商、设备商、运维商、融资商以及数百万从业者的权益平衡，依然是政策落地的最大难点。为此，国家能源局提出五不原则：自愿不强制、试点不审批、到位不越位、竞争不垄断、工作不暂停。随着相关完善政策的落实及监管措施落地，分布式光伏有望破解阶段性难题，步入高质量发展新阶段。（崔晓利）

日本能源政策或迎重大转变

中国电力报 2023.2.22

据新华社东京2月10日电（记者 钱铮）日本内阁会议2月10日通过“以实现绿色转型为目标的基本方针”（以下简称“基本方针”），明确了要最大限度利用可再生能源与核能。针对核电站在一定前提下服役可超过60年以及研发和建设新一代核反应堆等内容，媒体称这是日本能源政策的重大转变。

日本经济产业省当天发布的资料显示，基本方针重提了日本政府2021年发布的第六版能源基本计划目标——到2030年可再生能源与核能发电占比分别达到总发电量的36%至38%和20%至22%。

基本方针保留了福岛核事故后“原则上40年，最长60年”的核电站服役期限规定，但同时允许在严格安全审查的前提下，核电站停运接受审查的时间可以从中扣除，这实际上使核电站服役超过60年成为可能。

基本方针还提出致力于研发和建设采用新安全机制的新一代核反应堆，但仅限于替代已决定报废的原有反应堆。

为支持企业的脱碳投资，基本方针计划今后10年发行20万亿日元（1美元约合131日元）新国债。当天的内阁会议还通过了规定新国债发行方针等内容的绿色转型推进法案，但法案还需提交国会审议通过。

2011年福岛核事故后，日本政府和民众对核能利用一度趋于谨慎，核电占日本国内发电总量的比例从2010年的超过25%下降到2019年的不足6%。但现在日本政府既要为核电站服役期限“松绑”，又筹划建设新一代核反应堆，媒体称这是日本能源政策的重大转变。

国内首个分布式智能电网示范区开建

中国电力报 2023.2.21

本报讯（胡杰 张朋 张辉）2月13日，中国电力科学研究院、国网安徽电力经济技术研究院、天地电研（北京）科技有限公司联合国网安徽金寨县供电公司，共同完成金寨县分布式智能电网示范区一期工程的现场勘查、设计等工作，这也标志着国内首个分布式智能电网示范区建设正式启动。

金寨县分布式智能电网示范区为国家能源局“十四五”能源领域科技创新规划重点任务实施依托项目《面向中低压配电网的功率溢出型分布式电源接入与协同优化规划技术与示范研究》配套工程，选定于金寨县大湾村10千伏马鬃岭04线路，供电范围内分布式光伏总装机容量2260千瓦，3个小型水电站总装机容量1280千瓦，新能源装机渗透率超过170%。线路上分布式电源集中分布于线路中段及末端，负荷集中于线路首端，源荷的时空不匹配特征显著，同时建有融合断路器、调容调压变压器、分布式光伏保护器、物联网智能断路器、微气象装置等智能化设备，并已接入5G智慧能源综合管理平台。目前该线路具备建设分布式智能电网的全部要素且现实需求迫切，是试点应用分布式智能电网技术的优质试验田。

随着整县光伏开发工作的加速推进，截至2022年9月，安徽省内新能源总装机2720万千瓦，光伏装机占比为77%，分布式光伏装机占光伏总装机的46%，连续7个月新增装机容量超过集中式，中低压配电网中分布式光伏装机占比达到新的高度。海量分布式光伏的接入给电网运行带来诸多新问题，以金寨地区为例，110千伏、35千伏和10千伏电压等级中存在分布式电源功率溢出的变压器比例分别为44%、13%和72%，部分10千伏变压器分布式电源功率溢出率高达80%，引起部分线路线损率达5.87%，电压越限现象明显。

中央财经委员会第十一次会议提出发展分布式智能电网。国网安徽电力经济技术研究院在国网安徽省电力有限公司的指导下，提前主动开展分布式智能电网研究。围绕服务于乡村高比例分布式光伏溢出功率高效消纳，组建“化产学研用”联合攻关团队，攻关交直流混合配电网灵活组网技术、源网荷储协同调度技术及多端口分层接入设备研制，助力国内首个功率溢出型分布式智能电网金寨示范工程建设。通过整合示范区源荷储多元要素、多类型智能化设备，构建台区侧直流互联功率传送通道，试点开展台区侧自律调节、集群互动自治等技术应用，可支撑示范区分布式光伏接纳能力提升6%以上。

金寨县分布式智能电网示范区一期工程总投资987.81万元，涉及10千伏马鬃岭04线路的桥边1号、花石大湾村集体光伏、金寨大湾漂流旅游公司、帽顶及大湾2号5个配电台区，建设内容包含一次、二次系统建设和线路工程，具体为新建多端口分层接入装置5台，光伏DC/DC变流器3台，光伏预测装置3台，直流快充桩1台；建设1套微网保护系统主站，1套微网中央控制器，6套无线通信设备和2台三层交换机；新架设四回多端口互联装

置之间直流线路，新建充电桩两回负荷接入线路共5千米等，计划在2023年12月底前完成施工建设。

金寨县分布式智能电网示范区工程实施后将实现示范区能源网络互联互通，提高示范区能源利用效率和供电可靠率，为国内其他整县光伏试点县的溢出功率高质量消纳提供可借鉴、可复制的工程应用经验，为配电网侧“双碳”目标实现提供新技术支撑。

国内特高压线路首次应用移动带电融冰装置

拓宽特高压直流冰害应急处置手段

中国电力报 2023.2.23

本报讯（周俊杰 常多 张晶）面对近日全国大范围雨雪寒潮天气来袭，2月13日，国网陕西省电力有限公司对±800千伏祁韶线（陕西段）实施带电融冰，确保跨区线路安全可靠运行。这也是国内特高压输电线路首次应用移动式直流融冰装置进行地线光缆带电融冰，标志着特高压线路融冰技术取得新进展。

±800千伏祁韶线是连接甘肃祁连山换流站和湖南韶山换流站的重要联络线路，作为国家西电东送服务能源战略的重要输电通道，线路全长2383千米，途经甘肃、陕西等5省，于2017年6月27日投运，担负着保障华中地区能源可靠供应的任务。2月11日，中央气象台发布雨雪冰冻橙色预警，陕西也迎来雨雪冰冻天气，深处秦岭腹地的±800千伏祁韶线部分区段出现覆冰，线路安全稳定运行遭受严重威胁。

为有效应对雨雪冰冻天气对输电线路造成的影响，确保电网稳定运行和可靠供电，陕西电力靠前指挥，部署融冰专班和观测小组共8个运维工作小组，开展覆冰观测、重要节点测温 and 融冰动态监测，实时监控电网运行状态，科学研判，根据现场覆冰情况，充分考虑地线光缆融冰过程精准控制、融冰效果快等要求，将融冰装置直流电流稳步增加至预控电流值，历经近1小时的运行，特高压线路14.446千米地线光缆覆冰明显消融，±800千伏祁韶线恢复安全运行，国内首次特高压直流地线光缆带电融冰圆满成功。

近年来，由于极端天气频发，祁韶线处于秦岭腹地的部分区段不断遭受严重覆冰考验。为提升线路的抗冰能力，陕西电力精心组织研究，自2022年5月起，组织国网陕西超高压公司、国网陕西电科院、国网汉中供电公司、陕西送变电工程公司等相关单位对祁韶线部分区段进行地线及光缆绝缘化改造，成功研发特高压直流线路地线、光缆带电融冰装置，攻克带电融冰绝缘化改造与光电分离、过电压防护与绝缘配合、光缆温控与监测、融冰功率精细调控等关键技术，通过降压整流，利用直流电流的热效应加热地线光缆融化冰雪，保障线路安全运行。

此次国内首次特高压直流地线光缆带电融冰圆满成功，拓展了特高压直流线路冰害应急处置手段，向特高压线路融冰小型化和实用化迈进了新的一步，为迎峰度冬期间设备应对雨雪冰冻特殊工况安全运行提供强有力的技术支撑，为保障电力能源可靠供应发挥重要作用。

农村能源转型要做好电文章

中国电力报 2023.2.23

核心提要

●建设以电力为核心，分布式光伏为电源主体、微电网为电网主体、农村能源综合体为消费主体，大电网、新型储能为辅助支撑的新时代农村能源体系

●坚持以农民利益为中心、一切从农村实际出发，以建立新时代农村能源体系为目标，积极建设农村新型电力系统，重点推动实施“五大工程”

积极推动农村能源转型发展，是巩固拓展脱贫攻坚成果、统筹乡村基础设施和公共服务布局、建设宜居宜业和美乡村的需要；是协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展的需要；是新时代创造新伟业，加快建设农业强国、全面建设社会主义现代化国家的需要。

目前，我国农村能源以传统能源供应为主，利用效率低，结构不合理，容易造成环境污染；能源消费水平长期在低位徘徊，与城市差距日益加大，不同省份和地区存在较大差异。电力作为优质能源，在农村能源消费结构中占比较低，潜在需求极大，建设新时代农村能源体系亟须做好电文章。

农村能源转型发展的体系建设

建设以电力为核心，分布式光伏为电源主体、微电网为电网主体、农村能源综合体为消费主体，大电网、新型储能为辅助支撑的新时代农村能源体系。

微电网是构成新时代农村能源体系的主体支撑。所谓微电网，就是以分布式能源为主，配置储能，实现智能化控制，构成一定区域范围内发配供储一体化的独立微型电力系统。微电网更加适应分布式能源发展趋势。大电网把大负荷汇集起来实现大范围调度平衡利用，微电网则就近利用资源实现自我供给平衡。未来的新型电力系统，大电网和微电网是电网运行的两种状态。现在的农村供电模式采取大电网“覆盖式”供应方式，直接采用微电网后，大电网将由“覆盖”转为“连接”，与微电网互为补充。

分布式能源是构成新时代农村能源体系的电源主体。农村有大量土地和设施资源，可以用来发展分布式光伏和分布式风电，分布式光伏资源的普遍性决定了其作为电源的主体地位。农村分布式能源主要有三种利用方式：一是利用农村居民屋顶同步开发分布式光伏和光热，既能满足生活用电需求，又能满足生活用热需求，富余电力输送给微电网进行市场化交易。二是利用农村公共设施资源、空地资源发展分布式能源，以满足农村公共生产用能需求。三是利用农村及周边地区资源发展分布式风电、小规模集中式光伏和农光互补发电项目，最大限度满足农村持续增长的用能需求。

农村能源综合体是构成新时代农村能源体系的消费主体，也是一个集约化平台，主要包括“两个站、六个中心”，即电力汇集站、集中充电站、储能中心、冷链中心、物流中心、

电力消费中心、电力交易中心、电力控制中心。农村能源综合体的构建，科学统筹了乡村基础设施和公共服务布局，从根本上解决了农村电力生产和消费的平衡问题，为农村分布式能源大规模发展创造条件。

大电网是构成新时代农村能源体系的辅助支撑。新时代农村能源体系中，大电网是微电网的蓄能池，当微电网电力不足时，大电网负责补给；当微电网电力富余时，大电网负责消纳，解决微电网冗余不平衡的问题。一旦农村电力负荷增长或突变，就要靠大电网短暂支撑，尤其农业生产用电需求扩大情况下，大电网的支撑作用至关重要。

储能系统是新时代农村能源体系的蓄水池。这个储能系统区别于微电网自身附带的、针对分布式电源和用户的小型储能系统，是配套于微电网连接大电网之间的大型公共或共享储能系统，满足大功率消费用户的配套使用。储能系统在新时代农村能源体系中主要发挥蓄水池和调节器作用，既维持多个微电网平衡，又对接服务大电网，保障一定区域内整个电力系统的峰谷平衡。

农村能源转型发展的具体举措

坚持以农民利益为中心、一切从农村实际出发，以建立新时代农村能源体系为目标，积极建设农村新型电力系统，重点推动实施“五大工程”。

农村新型电力系统工程是构建新时代农村能源体系的基础。分布式电源、微电网、能源综合体是构成农村新型电力系统的主体工程，大电网和储能系统作为辅助支撑是重要的组成部分。从农村现状看，大电网建设基本实现了我国乡镇的全覆盖，重点是推动主体工程建设，建立微电网供电新模式。主要推动四个方面的工作：一是做好顶层设计。以乡镇为基础，结合村落分布特点，按照500~1000户人家组建一个微电网，一个乡镇配套3~5个能源综合体，完成微电网和农村能源综合体规划布局，能源综合体规划要结合乡镇交通布局、冷库选址、大电网搭接等条件综合考虑。二是投资主体选择。主体工程由能源领域投资主体负责统筹推进建设实施，涉及冷库、物流中心等能源之外的配套设施另行引入专业投资方，投资主体负责总体规划建设、对接大电网、农村电力需求预测、交易和调度。三是分布式能源开发模式选择。坚持集中统一规划、开发和运营原则，结合不同地区的条件，既可由用户自主开发，也可投资主体集中开发，或两者相结合。四是构建农村电力交易市场。以能源综合体为中心，构建形成农村分布式电力集中交易市场，实现微电网与微电网、微电网与大电网之间的电力市场化交易。

农村电气化工程是提升农村电力的消费比重、实现农村能源利用向电力转型发展的重要举措。主要围绕以下四个方面开展工作：一是加快农村微电网建设，提升农村电力自给能力，结合千乡万村“沐光”行动、千乡万村“驭风”计划大力发展农村分布式能源。二是推动大电网在农村升级变革逐步实现农网从供给型向支撑型的转变、从输入型向输出型的转变。三是不断推动农村电力消费升级，持续推进家电下乡行动计划，加快推进电动车进入农村市场，稳步推进生产用能电气化转型。四是探索推进农村用电方式变革，推广低压直流电

器在农村家庭的使用，以直流 24 伏照明为例，将其他家用电器改为低压直流用电，精准对接户用分布式光伏，构建交直流相结合的农村特色供用电模式，实现用电既安全又节能。

农村光热综合利用工程是以新能源直接供热为主要方式，解决农村生活和生产用热的一项系统性工程，是传统太阳能热水器利用的新技术替代。主要有三种利用形式：一是户用“光伏 + 光热”一体化运用替代工程，主要解决农村家庭日常生活的用热来源，替代传统太阳能热水器；二是户用光热采暖供热替代运用工程，主要解决农村家庭冬季的供暖问题，替代传统能源取暖模式；三是农业大棚光热综合运用替代工程，主要解决新时代农村农业种植所需的用热来源，替代燃气为主的供热方式，实行电热转化综合利用。推进农村光热综合利用工程坚持以光伏供热利用为主、其他供热方式补充为原则，率先实施北方地区新能源供暖替代工程和大棚现代农业种植用热替代工程，待光伏光热一体化技术成熟之后，再在农村家庭大规模推广运用，优先在新农村建设中实现全覆盖。

农村建筑光伏一体化工程是确保发电设施与建筑、环境实现协调发展的前提条件。主要从三个方面推动落实：一是细化政策落地见效。《“十四五”节能减排综合工作方案》提出要结合分布式光伏相关政策细化做实，推动农村建筑光伏一体化开发落地见效。二是强化标准的执行。2021 年 9 月，住房和城乡建设部发布《建筑节能和可再生能源利用通用规范》国家标准，要求新建建筑安装太阳能系统，为农村分布式光伏开发提供了依据。三是实施示范带动作用。推动农村建筑光伏一体化示范建设，从建筑设计、光伏及建筑新材料运用、交直流混合供电、家电智能化全方位开展运用示范，以光伏发电利用推动农村建筑行业变革。

农村生产用能主要包括四个方面：一是满足现代农业排涝、灌溉、喷灌、滴灌的用电需求；二是满足大棚农业现代化种植、育苗、采摘的电热需求；三是满足农村牧业、渔业的养殖电热需求；四是满足农村农副产品储存及加工的用电需求。提升农村用能工程主要是就地发展分布式光伏和风电，构建独立微电网发展方式，建立与能源综合体和大电网的互补连接，实现生产用能自给自足。（胡瑛）

国网天津电力牵头的沿海多源多荷协调优化项目通过验收 为沿海地区分布式可再生能源发电消纳提供路径

国家电网报 2023.2.24

本报讯（郑晓麟 张扬）2 月 16 日，国网天津市电力公司牵头的国家电网有限公司科技项目“考虑海水淡化的沿海多源多荷协调优化技术与验证”通过验收。项目成果为沿海地区分布式可再生能源发电消纳提供路径，提升含海水淡化的多源多荷系统高效低碳运行水平。

针对含海水淡化的多源多荷协调技术存在的调度控制不灵活、能效评估不成体系等问题，国网天津电力联合中国电力科学研究院有限公司、国网辽宁省电力有限公司、南瑞集团有限公司、天津大学等单位 and 高校开展联合攻关。历时 3 年半，项目攻关团队在研究海水淡

化工艺流程的典型负荷特性、调控潜力、分布式可再生能源与含海水淡化的多源多荷协调优化配置方法等方面取得突破，攻克了沿海多源多荷协调控制系统仿真技术和综合能效评估技术，构建了面向多源多荷的协调控制系统模型，建立了系统综合能效评估体系，开发了基于分布式可再生能源电源、储能装置的沿海多源多荷协调控制的能源互联平台并完成验证。

项目研究期间，攻关团队共发表论文9篇，申请国家发明专利9项。项目依托天津滨海能源互联网综合示范区开展研究，在天津大港新泉海水淡化公司实现示范应用后，该公司屋顶光伏发电实现100%就地消纳。国网天津电力将深化项目成果推广应用，积累沿海多源多荷协调优化技术和运行经验，形成以电网企业为主导的研发体系。

二、热能、储能、动力工程

新能源电力项目开工热

经济日报 2023.2.13

“全力以赴抓好新能源发展‘大会战’，确保新能源发展‘硬任务’务期必成。”中国华能集团总经理邓建玲近日在2023年新能源建设推进会上的一句话道出了很多能源企业的心声。

受新冠疫情冲击、原材料价格高企等多重因素影响，过去一年不少计划开工的新能源项目陷入阻滞，全国风电装机大幅下滑，光伏装机也不及预期。2023年伊始，随着疫情防控政策的优化调整，全国上下掀起新一轮新能源开工热潮。根据全国能源工作会议要求，2023年风电装机规模达到4.3亿千瓦左右、太阳能发电装机规模达到4.9亿千瓦左右。从2022年招标情况看，今年全国风电新增装机有望重拾高增长；光伏新增装机容量有望攀上历史新高。

装机增长势头强劲

“双碳”目标下，加强风电太阳能发电建设，是调整优化能源结构的关键，也是经济稳增长的重要支撑。

2月6日，中国华能党组书记、董事长温枢刚在2023年新能源建设推进会上宣布首批新能源项目开工。靠前安排2000万千瓦、共计152个新能源项目实现实体开工和施工准备，全年新能源开工3000万千瓦以上。

此前不久，三峡集团库布其沙漠鄂尔多斯中北部新能源基地项目已经在内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗开工建设。该项目是在沙漠、戈壁、荒漠地区开发建设的全球最大规模风电光伏基地项目，也是我国首个开工建设的千万千瓦级新能源大基地项目。

2022年风电行业装机量受疫情、供应链等影响，预计整体吊装规模大约5000万千瓦，但是市场招标量全年近1亿千瓦，为历年最高峰。远景能源高级副总裁田庆军表示，随着“沙戈荒”及海上大基地、保障性并网及“源网荷储”市场化并网等各类项目的建设推进，预计2023年中国风电新增装机将创新高，风电将继续稳步行驶在快车道上。

记者了解到，远景能源将在“沙戈荒”超大型陆上风电基地、新能源乡村振兴、“深远海”千万千瓦海上风电集中开发中继续发力，持续推动降低风电成本，并以零碳产业园作为有效抓手，推动“风电+”成为新增装机的重要支撑。

沈阳国联电缆附件制造有限公司董事长唐宝玉同样看好今年新能源行业的成长性。他透露，公司今年将积极布局新能源发电领域，稳步推进新能源发电项目投入力度，凭借对电缆系统的专业优势，建立起大市场、大服务体系，为实现构建新型电力系统、推动能源清洁低碳转型做好服务。

目前，各地都掀起了新能源发展热潮，提出了规划目标。从公开资料来看，27个省份“十四五”规划新增风电和光伏装机目标约7.5亿千瓦；这两年已经下达的建设计划指标超过5.4亿千瓦，为今后几年规模化发展奠定了基础。

“今年新能源市场表现将呈现规模化提速的特点。从各地要求和项目建设周期规律看，2023年将成为‘十四五’新能源装机增长的高峰年。”中国石油集团经济技术研究院特聘专家袁榴艳说。

国产替代脚步加快

在逆全球化、贸易保护主义抬头等多重因素叠加影响下，新能源产业链供应链安全受到一定威胁，更加坚定了新能源行业加快国产替代的决心。

不久前，中国船舶集团海装风电股份有限公司自主研发的18兆瓦海上风电机组在山东省东营经济开发区海上风电产业园下线，刷新了全球海上风电机组单机功率最大、风轮直径最大的纪录。

风电是技术密集型行业，技术进步是通过关键零部件取得突破实现的。这意味着整机商要走出舒适区，将技术能力向过去未曾涉足的产业链上游领域延伸，必须具备打开技术“黑匣子”的诚意、勇气与智慧。

田庆军说：“不能简单地认为自研部件就会降低成本。从整机商技术进步角度来看，平价时代，只有完全控制和理解风电机组从设计、验证、制造、运行的全过程，技术穿透风机产业链，才能获得更大的设计自由度，提供更优性价比、高可靠性的风机。”

如今，包括远景在内，越来越多的风电整机商已将核心部件自研作为重要战略，自制及协同上游供应商联合开发，预计关键部件和技术国产化替代脚步加快，产业链竞争力将大幅提升。这也是在逆全球化、贸易保护主义抬头等多重因素叠加影响下，保障产业链供应链安全稳定运行的最有效手段。

唐宝玉在电缆行业摸爬滚打38年，谈起国产替代感触极深。他对记者说，“我创办沈阳国联，就是坚信国产品牌联合起来一定行。我们走了这么长的路，国产品牌陆续成长成熟起来，技术不断迭代升级，部分技术已经进入到世界领先水平。2019年，我们为湛江外罗海上风电项目供货了多种电缆终端。眼下正是新能源行业实现国产化的好契机”。

总体来看，在国家政策的大力支持下，以风电、光伏为代表的新能源行业技术装备由

20年前90%以上依赖国外进口，到近年来90%以上实现国产化，从追赶者成为领跑者。目前我国大功率风机制造、光伏电池片等核心技术水平不断刷新全球纪录，风电、光伏发电等清洁能源设备生产规模居世界第一，主要设备占全球产量的70%以上，构建了完备的产业链体系。

袁榴艳表示，这种以科技自立自强为核心的国产化替代，推动了新能源产业化、规模化发展，形成了全球领先的技术、规模和竞争优势，对于我国构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局有着十分重要的意义，为我国把握能源绿色低碳转型发展的主动权和新能源产业链安全提供了坚强支撑，增强了我国在全球绿色低碳发展中的话语权和影响力。

发展要规模还要质量

新能源大发展要规模还要质量。“十三五”初期，一些地区经历了较为严重的“弃风弃光”问题。在国家一系列促进可再生能源消纳政策的引导和支持下，近几年新能源消纳水平越来越高，去年全国风电、光伏发电利用率分别达96.7%、98.2%。同时，在内蒙古、西藏、青海等局部地区的风电或光伏利用率出现低于90%的现象，这也引发了各方对出现新一轮“弃风弃光”的担忧。

田庆军坦言，短期内风电并网消纳与“弃风限电”问题仍是行业发展的难点之一。“三北”地区以及海上风电大基地装机规模预计增长迅猛，对电力系统是巨大的挑战，今年海上风电很可能存在一定程度的限电。过去的陆上风电开发已给出启示：大批量新能源消纳难以完全依赖电网。

去年，我国出台了《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，明确了新时期要坚持先立后破，推进新能源大规模、高质量发展的政策总基调。有关部门和企业多措并举保障新能源消纳。

为积极应对光伏装机快速增长，国网湖州供电公司深化数字化牵引新型电力系统建设，推动电网向能源互联网转型。公司在浙江安吉余村开展“两山”示范多元融合高弹性配电网建设，促进配电网弹性提升，满足分布式新能源灵活可靠接入。在滨湖综合能源站，投运氢电双向转换及储能一体化系统，通过氢能和电能双向灵活转换，实现电力的灵活调节和存储。在湖州祥福变电站，国网湖州供电公司建成投运全国首个220千伏分布式潮流控制器示范工程，双向动态调节电网潮流分布，提升区域电网的整体承载力和安全性，增强电网供电能力和海量清洁能源消纳能力。

针对风电高效利用，田庆军建议，做好规划、合理布局“风电+”，协同储能、绿氢、绿氨、绿醇、冶炼、生物合成技术，突破创新零碳产业园、“源网荷储”、风电下乡等多种模式，未雨绸缪解决“弃风限电”问题。

我国能源资源与负荷中心逆向分布，“三北”风光资源丰富地区受负荷增速较缓限制，装机发展与消纳能力不匹配的矛盾突出。为有效提高新能源消纳利用水平，在全国范围内实

现资源优化配置是关键。

袁榴艳建议，优化非水可再生能源消纳责任权重指标，逐渐缩小地区间消纳责任权重差距，体现新能源消纳责任共担。加强特高压电力外送通道建设，健全跨省区市的新能源电力交易机制，进一步提升新能源资源在全国范围的配置能力。优化产业布局，结合“沙戈荒”新能源大基地建设，鼓励和引导高载能产业向新能源富集的西部、北部地区有序转移，提高新能源就地消纳水平。

整合分散资源 促进源荷网良性互动

虚拟电厂：不生产电，但管理电

科技日报 2023.2.15

近年来随着新型电力系统建设推进，无论是电力生产还是需求都有着越来越大的随机性。虚拟电厂的出现，则可以最大限度地平抑新能源电力的强随机波动性，提高新能源的利用率，打破传统电力系统中发电厂之间，以及供给侧和用电侧之间的物理界限。

近日，国网上海市电力公司经济技术研究院主持申报的《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》已由国家标准化管理委员会正式批准立项，标志着虚拟电厂领域首个国家标准正式立项。

解决灵活性资源供需问题，是建设新型电力系统必须攻克的难题，虚拟电厂正是新型电力系统建设的重要抓手和典型实践。制定并出台相关标准，将对目前虚拟电厂建设中遇到的诸多问题起到纲领性的指导作用。

可灵活实现削峰填谷

2022年8月，特斯拉公司在缺电情况最为严峻的美国加利福尼亚州举办了一场紧急响应活动，散布在加州各地的2300多名特斯拉用户通过“虚拟电厂”，将家用储能设备“能量墙”（PowerWall）中存储的电能输送至最缺电的地方。这些分散的电力在某个时点的输出功率高达16兆瓦。

这是一次多赢的尝试：用户输出用不完的电，1度电即可挣2美元；虚拟电厂的调度，缓解了电网在用电高峰时期的巨大压力。

“虚拟电厂，顾名思义就是一个虚拟化的电厂，它不直接发电，但是却起到了‘电厂’的作用。”国网江苏电科院新能源技术室主管汪成根博士介绍说，实际上，虚拟电厂就是一套能源管理系统。

传统电网稳定运行了这么多年，已经形成一套完备的调控体系，为何还需要另起炉灶建设虚拟电厂？

传统电力系统中，电网根据用电侧的电力需求对供给侧的发电进行调控，供给侧的发电厂多为数百万兆量级的大型火电机组。

汪成根告诉科技日报记者，近年来随着新型电力系统建设推进，无论是供给侧的电力生

产，还是用电侧的电力需求，都有着越来越大的随机性，对电力保供工作、系统经济高效运行等带来了严峻挑战。

具体而言，在供给侧，近年来的“双碳”目标以及能源转型，使得风光发电在能源结构中的占比持续扩大，“靠天吃饭”的新能源具有随机性、间歇性和波动性等特点；在用电侧，以空调大规模普及为代表的终端电气化水平持续提升，以及充电桩等新型负荷不断涌现，让预测用电负荷也变得更加困难。

虚拟电厂的出现，则可以最大限度地平抑新能源电力的强随机波动性，提高新能源的利用率，打破传统电力系统中发电厂之间，以及供给侧和用电侧之间的物理界限。

虚拟电厂将相对分散的电源、电网、负荷和储能等进行集成调控，实现了“源网荷储一体化”，其等效为一个可控的电源，既能作为“正电厂”向系统供电，也能作为“负电厂”消纳系统储存的电力，灵活实现削峰填谷。

破解绿色能源消纳难题

新能源发电产业高速增长，综合能源站、储能、电动汽车充电桩、智能楼宇、冷热电三联供等多能柔性负荷大量接入电网系统，如何灵活调度现有资源，提升供电可靠性、经济性和新能源利用率，成为电网面临的重要难题之一。

汪成根认为，随着“双碳”目标的持续推进，新型电力系统的发展成为未来趋势，对可再生能源、分布式发电的开发利用得到了前所未有的重视，传统“源随荷动”的运行模式亟须向“源荷互动”转变。虚拟电厂能够提升能源服务，实现对分布式能源的响应分配、灵活挖掘潜力、实时协调控制，有效参与电力市场交易，响应多样化的用电需求，在破解清洁能源消纳难题、绿色能源转型方面将发挥重要作用。

国网江苏电科院自动化技术室博士易文飞认为，虚拟电厂不仅可以支撑电网安全稳定运行，还能延缓或节约电力投资。根据国网能源院预测，较乐观边界条件下，我国 2025 年需求侧资源的技术可开发潜力有望达到最大负荷的 9% 左右，通过虚拟电厂将难以调度利用的小微资源整合，并参与系统运行调节，能够有效提升电力系统的灵活性。

“仅依靠传统电力系统直接调度管理‘点多面广’的分布式资源，成本高昂且十分困难，一旦分布式资源在能源供给中的占比达到一定程度，将对电力系统平稳运行带来极大的不确定性。”易文飞说，虚拟电厂的发展应该瞄准小微资源的聚合管理，扮演系统调度与用户的中间管理者角色，使分布式光伏、用户侧储能、可调节负荷等各类资源更好地在系统运行和市场交易中发挥作用。

国内虚拟电厂建设方兴未艾

据悉，全球首个虚拟电厂项目诞生于 2000 年，德国、荷兰、西班牙等 5 国 11 家公司共同启动虚拟电厂项目 VFCPP。

近年来，我国虚拟电厂建设也开始步入战略发展阶段。2017 年 5 月 24 日，世界上首套大规模“源网荷互动”系统在江苏投运，它的投运标志着我国拥有了世界上最大规模容量

的虚拟电厂。

2021年以来，国家层面的能源规划、低碳转型、碳达峰行动方案 and 新型储能指导意见等政策中，都明确支持虚拟电厂参与调节电力系统、电力辅助服务和现货市场交易等。北京、内蒙古、河南等多地将虚拟电厂写入其“十四五”能源发展规划中。

汪成根表示，国内虚拟电厂建设起步较晚，仍处于初级阶段。虚拟电厂的发展可分为邀约型、市场型和自由调度型三个阶段。目前，我国虚拟电厂仍处于邀约型向市场型发展的阶段，主要通过政府机构或电力调度机构发出邀约信号，由负荷聚合商、虚拟电厂组织资源进行削峰、填谷等需求响应。

易文飞认为，虚拟电厂代表了能源数字化、用电侧资源开发利用等一系列能源电力系统未来高价值的发展方向，但当前也有部分服务商借虚拟电厂的概念包装其传统的节能改造等低技术密度业务。

“当前，关乎虚拟电厂健康发展的部分宏观问题尚未得到解决。”易文飞说，一是虚拟电厂的概念内涵、功能形态未形成权威、统一的认识，政产学研各界均在各自的专业和立场上对虚拟电厂进行解读；二是虚拟电厂参与电网调度交易责权边界还不够明确，国家发改委等部门已经出台相关文件将虚拟电厂认定为辅助服务市场主体和并网调度主体，但是未在文件中明确其权责，电网企业也未出台详细的说明文件，这就使资本方、运营商、电网企业在虚拟电厂的发展投入上有所保留；三是虚拟电厂技术标准体系尚不健全，当前虚拟电厂建设缺少统一的标准，市场主体的数据交互存在壁垒，导致虚拟电厂运行成本高且存在信息安全风险。同时，虚拟电厂并网调度标准、规程不明确，导致并网调度存在困难。

虽然有着诸多需要解决的问题，但虚拟电厂在我国仍然有着非常大的市场潜力，国家以及各省市也在积极探索虚拟电厂的“建厂”路径。随着首个国家级标准的正式立项，虚拟电厂正朝健康有序方向蓬勃发展。（张晔）

藏电于气，绿色低碳，江苏常州金坛盐穴压缩空气储能电站——

赋能地下盐穴 助力高效用能

人民日报 2023.2.6

核心阅读

用电低谷时压缩空气，存储在地下；用电高峰时释放空气，每小时能发电6万千瓦时。在江苏常州金坛区，依托“非补燃”技术，金坛盐穴压缩空气储能电站全年可节约标准煤3万吨，减少二氧化碳排放超6万吨，并为江苏电网提供±6万千瓦调峰能力。

- ①过剩的电能
- ②压缩空气，将电能转化为空气势能和热能
- ③常温导热油吸收热量并储存
- ④常温高压空气通入地下盐穴进行储存

- ⑤发电时释放常温高压空气
- ⑥高温导热油释放热量给空气加热
- ⑦空气膨胀，驱动发电机产生电力
- ⑧输送到电网

用电池蓄能，用水库发电，似乎并不稀奇，但你是否知道，我们身边看不见也摸不着的空气，也有同样的功能？在江苏省常州市金坛区的茅山脚下，就有一个由盐穴改造的大型“充电宝”——金坛盐穴压缩空气储能电站。作为空气储能领域的国家试验示范项目，2022年5月26日，这个“非补燃”压缩空气储能电站正式投产。

压缩空气如何实现储能和放电？如何发挥价值？有哪些发展前景？记者带你一起来揭秘。

储能效果如何？

每小时能发电6万千瓦时

“丁零零——”1月28日8时56分，金坛盐穴压缩空气储能电站的集控室内，一阵电话铃声响起。当班值长袁尔聪接起电话，电话那头是国家电网江苏电力公司调度中心的指令：要求电站1号机组于9时32分准时并网调峰。然而此时，电站内并没有电——它以另外两种能量形式储存在空气和储热介质中。

“前一天21时许，正是用电低谷期，电网有富余的电量，我们就开始给‘充电宝’充电。”中盐华能储能科技有限公司综合事务部主任韩月峰介绍，这个过程好比给气球打气——地下900多米深处的巨大盐穴是“气球”，用电带动的空气压缩机就是“打气筒”，将1个标准大气压的空气压缩为140个标准大气压的高压空气。

压缩空气的过程中，空气温度会增加到300多摄氏度。为了保证系统运行的安全，需要将高温高压空气冷却到40摄氏度左右的常温高压空气。这些热量并没有被浪费掉，而是被换热器“取”出来储存在导热油之中，存放在地面上的大型高温导热油罐里。就这样，经过夜间“充电”，电能被转化为空气势能和热能。

接到调令电话后，集控室里的工作人员立即忙碌起来。他们要做的，是让空气势能与热能“再度结合”，重新转化为电能，在用电高峰期供居民使用。

在纵横分布着各类管道的现场，工人们先给换热器预热，然后打开盐穴井口控制阀。瞬间，近140个标准大气压的高压气体从地底深处的盐穴奔涌而出，在换热器内由导热油加热到300多摄氏度，成为高温高压空气，驱动空气透平膨胀机冲转，通过轴承带动发电机转动——电，又从空气中“重生”了。

9时32分，电站1号发电机组准时并入电网开始发电；10分钟后，发电机组达到60兆瓦的满负荷运转状态；14时30分，发电机组解列，发电作业顺利完成。

“在用电低谷时把空气压缩，存储在地下盐穴，完成一次充电的周期为8小时；在用电高峰时，释放高压空气，每小时能发电6万千瓦时，可以连续发电5个小时，发电量可达

30 万千瓦时。”韩月峰介绍。

具有哪些创新？

采用“非补燃”技术，电能转换更环保

由中盐集团、中国华能集团和清华大学三方共建的金坛盐穴压缩空气储能电站，可为江苏电网提供±6 万千瓦调峰能力。电站投产后不久，江苏迎来了炎热夏季。电站在 7、8 月间响应约 40 次调峰指令，其中 8 月份连续响应 23 天，甚至一天内灵活切换、多次响应，为迎峰度夏保供电贡献了力量。

除此之外，近年来，随着风、光等新能源的加速开发，江苏可再生能源发电总装机目前达到 5354.94 万千瓦。然而，新能源发电波动性强，在工业大省江苏，发电峰谷差高达 50%，给电网的安全稳定运行带来隐患，建设大规模储能设施尤为必要。

“目前储能办法有物理储能和化学储能两种。前者包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能等，后者包括各种电池储能。”金坛盐穴压缩空气储能电站项目首席科学家、清华大学电机系教授梅生伟告诉记者，压缩空气储能电站规模大、建设快、安全环保，是新型储能的重要发展方向之一。

当然，压缩空气储能电站的建设，也需要丰富的盐穴资源和成熟的造腔经验支撑，对建设环境提出了一定的要求。盐穴，即地下盐层被开采后留下的空腔，密封性良好且多数处于闲置状态，是储存高压空气的理想场所。“金坛拥有盐穴资源约 1000 万立方米。”中盐金坛公司盐矿矿长徐孜俊介绍，金坛盐穴压缩空气储能电站使用的茅八井盐穴，容积约 22 万立方米，可承受 200 个标准大气压。

利用盐穴来储能发电在其他国家并非没有先例，但采取“非补燃”技术却是国内首创。“盐穴的高压空气被释放出来后，需要加热膨胀产生更大推力，此前国外已投运的电站都通过燃烧天然气来加热，‘补燃’过程会产生碳排放。”梅生伟介绍，金坛项目将压缩空气过程中产生的热能储存起来，发电时再将热能释放，将电能转换效率提升至 60% 以上。据测算，该项目全年可节约标准煤 3 万吨，减少二氧化碳排放超 6 万吨。

发展空间怎样？

建设成本将随技术不断成熟大幅降低

记者看到，在金坛盐穴压缩空气储能电站附近，还留有大片建设用地。据了解，金坛盐穴压缩空气储能二期项目规模计划 400 兆瓦，三期项目规模预计 1000 兆瓦。

“盐穴压缩空气储能是个综合能源系统。”梅生伟认为，盐穴压缩空气储能未来的产业化、商业化前景，取决于两大方面——降低建设成本、提高电能转换效率，说到底就是技术创新。

“比如，大流量高温压缩机、大功率热交换设备、透平膨胀机等关键设备的研制都需要从零开始，和厂家技术人员边研究边开发。”梅生伟告诉记者，从项目立项到正式投产，金坛盐穴压缩空气储能电站历经 10 年研发、两年建设。在这个过程中，关键设备实现 100%

国产化，申请专利百余项。“目前的建设成本约为7000元/千瓦，但随着技术的不断成熟，未来的建设成本会大幅降低。”

梅生伟介绍，在提高效率方面，研发团队正在尝试“双管齐下”：一是目前的储热技术采用导热油，属于中温储热，如果未来采用熔融盐实现高温储热，电能转换效率有望从60%提高到70%；二是盐穴储气属于定容储气，充放气过程中压力一直在变化，影响设备运行效率，正在研发中的定压储气技术将实现恒压充气和放气，进一步提高系统电能转换效率。

规模发展的另一支撑是电价政策。国家发展改革委和国家能源局联合发布的《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》，从电价、交易及调度机制等方面对新型储能参与电力市场与调度运营做出规定。“目前电站的电价政策还在研究之中，各级主管部门对项目也都非常支持。”梅生伟告诉记者，清华大学参与的8座共1350兆瓦压缩空气储能电站，即将在两年内陆续建成投用。“相信随着建设成本和转换效率的不断优化，以及价格体系的持续完善，会有更多的机构和地方参与到压缩空气储能电站的建设中，为新能源高质量发展创造更多有利条件。”（姚雪青）

支撑新型电力系统的重要技术和基础装备——

“超级充电宝”蓄势待发

中国能源报 2023.2.13

山间峡谷，国网新源安徽桐城抽水蓄能电站加紧施工，超过21亿千瓦时的设计年发电量，可满足安徽安庆2个月的全社会用电量；

地下洞穴，百兆瓦先进压缩空气储能国家示范项目在河北张家口并网发电，项目核心装备自主化率100%，每年可节约标准煤4.2万吨；

张北草原，国家电投铁铬液流电池储能电站试验正忙，它可将6小时的光伏发电全部储存下来，即便零下40摄氏度也能正常运行，电池使用寿命可达20多年；

……

尽管运用了不同技术、不同装备，这些“超级充电宝”都能改变电力系统即发即用的传统运营方式。新能源大发或者用电低谷时充电，新能源出力小或者用电高峰时放电，既能平滑不稳定的新能源发电、助力其开发消纳，也能配合常规火电、核电等电源提供调峰调频等服务，提高电力系统的灵活性。

当前，储能产业发展情况如何？还面临哪些挑战？

■ 装机规模增长，技术装备提升

一般来说，除抽水蓄能外，以输出电力为主要形式的储能被称为新型储能。“抽水蓄能响应时间在分钟级，具有技术成熟、效率高、容量大、寿命长等优势，但受到选址条件要求高、建设周期长等因素制约。”中国能源研究会储能专委会主任委员陈海生说。而新型储能

选址灵活、建设周期短、响应速度快，但目前受到成本、成熟度、安全性等因素制约。

不同储能技术路线利弊兼有，却不影响其“百花齐放”。随着碳达峰、碳中和目标的提出，储能产业驶入发展快车道，成为构建新型电力系统的重要支撑。中关村储能产业技术联盟发布的最新数据显示，截至2022年底，我国已投运的电力储能项目中抽水蓄能占比达到了77.6%，新型储能占比21.4%。在新型储能中，锂离子电池装机比重最大，达93.9%。

装机规模显著增长。中国电力企业联合会提供的数据显示，截至2022年底，我国抽水蓄能总装机规模达4579万千瓦，是2012年底的2.2倍以上，规模位居世界首位。2022年我国投产28台抽水蓄能机组，合计880万千瓦。初步预计，到2023年底，抽水蓄能总装机规模将超过5000万千瓦。

技术装备不断提升。水电水利规划设计总院院长李昇介绍，我国抽水蓄能在坝工、库盆防渗、高水头压力管道、复杂地下洞室群等方面达到了世界先进或领先水平，机组朝着大容量、高水头、高转速、可变速方向发展。国家能源局科技司有关负责人表示，目前储能用锂离子电池能量密度较10年前提高一倍以上，全钒液流电池的隔膜、电解液等关键材料已经实现国产化，压缩空气储能技术发展迅速，飞轮储能突破了大容量飞轮及高速电机关键技术，具有成本低、原材料丰富特点的钠离子电池也崭露头角。

应用成本稳步下降。随着储能产业规模发展和技术进步，其应用成本稳步下降。陈海生介绍，过去10年新型储能成本平均每年下降10%至15%。其中，锂离子电池、压缩空气储能成本快速下降，逐步向抽水蓄能接近，“目前先进的压缩空气储能项目每千瓦装机成本为5000至6000元，折算成度电成本为每千瓦时0.25元至0.3元，未来5年有望再降20%至30%。”根据水电水利规划设计总院发布的报告，2021年核准抽水蓄能电站平均单位千瓦静态总投资为5367元。

■应用场景多样，满足不同需求

白天屋顶光伏发电，晚上储能电池吸收低谷电，在用电高峰时“反哺”给厂区——在江苏海基新能源公司，这套光储一体化系统每年能为厂区省下不少成本。“无锡的工业低谷电价每千瓦时只有0.28元左右，而高峰电价每千瓦时为1.15元左右，储能利用这样的峰谷价差，每年能为海基新能源节省五六十万元电费。”国网无锡供电公司工作人员李向超算了笔账。

这只是储能多种应用场景之一。通过与电力系统源、网、荷等各环节融合发展，储能有助于提升能源清洁利用水平和电力系统运行效率。

陈海生介绍，在电源侧，储能可以提升新能源并网友好性和容量支撑能力，助力高比例可再生能源基地外送，促进沙漠戈壁荒漠大型风电光伏基地、大规模海上风电开发消纳，提升常规电源调节能力；

在电网侧，储能可以提供调峰、调频等多种服务，提升系统抵御突发事件和故障后恢复能力，提高电网安全稳定运行水平，同时还能增强电网薄弱区域供电保障能力，延缓和替代

输变电设施投资，提升系统应急保障能力；

在用户侧，储能可以用于分布式供能系统，提高用能质量、降低用能成本，同时通过用户侧储能以及充换电设施、智慧用电设施等，提升用户灵活调节能力。

中关村储能产业技术联盟发布的数据显示，2022年，新增投运新型储能项目中，依旧是电网侧新增装机规模最大，占比约47%；此外，电源侧占比45%、用户侧占比8%。目前来看，我国华北、西北区域以新能源配储能为主，华东区域新能源配储能、电网侧储能与用户侧储能应用分布较为均衡，南方区域以火电厂配储能为主。

不同的储能技术因其性能特点不同，适用不同的应用场景。国网能源研究院新能源与统计研究所副所长黄碧斌分析，抽水蓄能电站选址往往需要找地势落差较大的地方，但容量效益强、单站规模大，适宜电网侧大规模、系统级应用；新型储能单站体量可大可小，环境适应性强，能够灵活部署于电源、电网和用户侧等各类应用场景，可以作为抽水蓄能的增量补充。

■ 加快完善机制，保障安全水平

加快推动储能规模化、产业化和市场化发展，成为能源行业的共识。

根据《抽水蓄能产业发展报告2021》，“十四五”期间抽水蓄能电站的建设数量将超过200个，已建和在建规模将跃升至亿千瓦级，预计到2025年我国抽水蓄能电站装机容量将达到6200万千瓦，这相当于近3个三峡电站的总装机容量。新型储能方面，国家能源局科技司有关负责人介绍，预计到2025年末装机规模将达到3000万千瓦以上，年均增长50%以上，有效支撑清洁低碳、安全高效的能源体系建设。

尽管市场前景广阔，但储能的发展规模和质量还有很大挖潜空间——

技术研发还需发力。尽管我国在锂离子电池、压缩空气储能等技术方面已达到世界领先水平，但钠离子电池储能、飞轮储能等其他新型储能技术，尚处于应用示范阶段或大规模应用起步阶段。陈海生认为，储能技术创新能力显著提高，要在高安全、低成本、高可靠、长寿命等方面取得进步，并且做到核心技术装备自主可控。

市场机制有待健全。“新能源+储能”是新型储能重要应用场景。一名新能源电站负责人告诉记者，如果电站按照20%比例、2小时时长配备储能，总体投资增加约20%，内部收益率降低约4个百分点，目前来看仍然面临较大的投资压力，希望能够稳步推进新型储能成本合理疏导，鼓励储能的多元价值释放。

“还需要进一步完善市场机制，加快完善储能电站参与电力市场相关配套政策及实施细则，保障新型储能更好地融入电力市场；通过价格信号激励各类经营主体自发配置储能资源，引导社会资本参与新型储能建设；尽快完善新型储能商业模式，促进新型储能、灵活性煤电、抽水蓄能等各类灵活性资源合理竞争。”中国电力企业联合会相关负责人建议。

安全水平要有保障。现有技术水平下，安全问题是新型储能规模化健康稳定发展不容忽视的因素。“储能模块、电池柜等方面的安全风险评估流程有待规范，要进一步明确、细化

政府和储能生产者、集成商、项目业主等产业链条中各主体的安全责任，加强全过程安全管理。”黄碧斌建议，还要加强储能产品检测认证能力建设，健全电化学储能安全标准体系，加快制修订储能质量和安全相关标准。

此外，还有专家表示，接下来加快推动储能发展，要注意科学安排发展规模、建设布局和建设时序，避免“一刀切”按比例配置储能。针对部分新能源配储能调用频次、利用率低的情况，要加强新型储能调度运用，提高已建成新型储能设施的利用率。

国家能源局科技司有关负责人介绍，“十四五”期间，将持续坚持创新引领、多元发展，强调市场主导、安全高效，鼓励创新示范、先行先试，积极推动新型储能技术创新。同时，结合新型电力系统的实际需求，以提高终端用户用电可靠性、提升电力系统稳定性和技术经济性为导向，因地制宜，循序渐进，推进储能高效应用和高质量发展。（丁怡婷）

锂离子电池未来发展方向或被重新定义

科技日报 2023.2.15

锂离子电池的能量密度是锂离子的7倍以上。此外，锂离子电池能够在输出电能的同时将二氧化碳固定为碳酸盐和碳，因而具有储能和固碳的双重优势。

经济的飞速发展，推动着世界对各类能源的庞大需求。

在当今能源格局中，化石能源仍占据主要地位，但大量、持续的化石能源消耗，也导致了大量的二氧化碳气体的排放。

一方面，化石能源属于非可再生能源，终将面临不可避免的能源枯竭问题；另一方面，温室效应的不断加剧，也迫使各国寻求一种可持续的绿色能源。

在新能源电池领域，锂离子电池似乎是个“一举两得”之法。

近日，记者从中国科学技术大学了解到，该校工程科学学院热科学和能源工程系特任教授谈鹏团队，通过探究多组分协同传输对锂离子电池的作用规律，为下一代锂离子电池的发展提供了调控策略。

相关成果日前发表于国际著名学术期刊《美国科学院院刊》。

能量密度是锂离子电池的7倍

锂离子电池是一种新型锂离子电池，普遍认为是储能领域的重要技术。

一般而言，锂离子电池的工作原理是当对电池进行充电时，锂离子从电池正极经过电解液运动到负极。作为负极的碳呈层状结构，有很多微孔，到达负极的锂离子就嵌入到碳层的微孔中。因此，嵌入的锂离子越多，充电容量越高。

同样道理，当对电池进行放电时（即我们使用电池的过程），嵌在负极碳层中的锂离子脱出，又运动回到正极。回到正极的锂离子越多，放电容量越高。我们通常所说的电池容量指的就是放电容量。

1985年，诺贝尔化学奖获得者吉野彰首次制作了第一个现代意义上的二次锂离子电池。

1991年，索尼公司开始大规模生产商用锂离子电池。同时，为了满足更多设备和约束条件下的使用要求，锂电先驱塔拉斯孔等人开始研究锂氧电池，随后的锂二氧化碳电池，正是在锂氧电池的基础上发展起来的。

锂二氧化碳电池的能量密度是锂离子电池的7倍以上。此外，锂二氧化碳电池能够在输出电能的同时将二氧化碳固定为碳酸盐和碳，因而具有储能和固碳的双重优势。

作为一种具备极大发展潜力的可充电电池，锂二氧化碳电池比容量极高，但是目前还处于发展的初级阶段。影响锂二氧化碳电池效能的因素有很多，包括电池的正负极材料、电解质等。

寻找高电压的来源

此前普遍认为，锂二氧化碳电池的工作电位和锂氧电池相似，在2.6伏左右。但缓慢的二氧化碳还原反应是否真的能够媲美更活泼的氧气还原反应，从而产生高电压？

谈鹏团队搭建了一种电化学测试平台，使电池中的活性气体流动起来，确保了纯净的二氧化碳环境。碳电极、催化剂负载的碳电极及非碳电极均表明锂二氧化碳电池的工作电压为约1.1伏，且二氧化碳还原反应速率远低于氧还原反应。经产物测试分析，研究团队提出约1.1伏电压下的放电产物为晶态、非晶态碳酸锂以及非晶态碳的混合物，肯定了四电子转移机制（锂二氧化碳电池从正极至负极的电荷迁移中包含4个电子）。研究表明，部分研究中所呈现的透射电子显微镜（TEM）图像很可能不是自然放电产物，而是电子束诱导的物质形态。

为寻找高电压产生的原因，研究团队将电压平台提升至1.8—2.0伏，放电产物中并没有检测到氢氧化锂、氧化锂等副产物。然而，所产生碳酸锂的形貌和结晶度却有明显差异。氧气和水通过改变碳酸锂的生成路径降低能量势垒，并且有效缓解电极钝化，从而加快反应速率。随后，研究团队通过模拟先前报道中静态封存二氧化碳的测试方法，成功复刻出了2.6伏的电压平台，发现锂源产物仍然为单一的碳酸锂。

这项研究重新定位了下一代锂二氧化碳电池的发展和应用方向：一方面，进行纯二氧化碳环境下的机理研究，开发相适配的组件如催化剂、电解质和电极，而不是复制先前的研究或锂氧电池；另一方面，面向大规模废气处理或深空探测，开发环境气体辅助的二氧化碳基电池。（吴长锋）

2023年版《bp世界能源展望》报告发布——

全球电力系统逐步向低碳化转型

国家电网报 2023.2.7

本报讯（记者孙珂）1月30日，英国石油公司（BP）发布了2023年《BP世界能源展望》（以下简称《展望》），假设了“快速转型”“净零”和“新动力”三种可能情景，探讨到2050年能源转型的大趋势。《展望》分析，能源需求结构在三种情景下均发生变化：化

石能源的重要性逐步下降，可再生能源占比增加以及终端能源电气化程度提高。

“近年来，全球能源政策和能源话题讨论一直集中在能源系统脱碳化和向净零转型的重要性上。过去一年发生的事件提醒我们，转型还需要考虑能源的安全性和经济性。任何成功 and 持久的能源转型都需要解决‘能源三重挑战’中的三个要素：安全、可负担和更低碳。”BP 首席经济学家戴思攀在《展望》中表示。

《展望》指出，自 2015 年巴黎气候变化大会以来，全球碳排放仍在逐年增加（2020 年除外），碳预算正在耗尽。在采取果断行动持续减少温室气体排放方面拖延的时间越长，可能造成的经济和社会成本就越高。在一些国家，政府对能源转型的支持进一步加强，但是脱碳化的巨大挑战意味着我们需要更多的支持，包括促进快速许可和批准低碳能源和基础设施的政策。

《展望》分析，随着运营车辆效率的提升和道路车辆电气化加速，石油在道路交通中的使用减少，石油需求在展望期间下降。但即便如此，在三种情景下，石油在未来 15 到 20 年内仍将继续在全球能源系统中发挥重要作用。关于天然气的前景，《展望》认为这取决于能源转型的速度，新兴经济体经济增长和工业化带来的天然气需求增长与发达国家向更低碳能源转型的相互抵消。《展望》强调，近来的能源短缺和能源价格上涨凸显了能源低碳转型有序进行的重要性，从而使得世界化石能源消费的下降能够与全球化石能源供应的减少相互呼应。现有油气生产地产量的自然下降意味着在未来 30 年仍需继续对石油和天然气上游进行投资。而随着风电和太阳能发电日益占据主导地位，全球电力系统逐步向低碳化转型。风能和太阳能贡献了全部或大部分增量发电，这得益于成本的持续下降，以及将这些不同来源的发电高度集中接入电力系统能力的不断增强。

《展望》指出，低碳转型需要一系列其他能源来源和技术，包括低碳氢、现代生物能以及碳捕捉、利用和封存：低碳氢在能源系统脱碳中发挥着关键作用，特别是对工业和交通领域这些难以减排的生产过程和活动而言；现代生物燃料，即现代固体生物质、生物燃料和生物甲烷的使用迅速增长，有助于帮助难以减排的行业和工业生产过程脱碳；碳捕捉、利用与封存为实现快速脱碳化发挥着核心作用。

液态金属新材料兼具拉伸性与气密性

中国科学报 2023.2.8

本报讯（记者刘如楠）近日，上海交通大学材料科学与工程学院教授邓涛团队、副研究员尚文团队等通过构建微米玻璃球阵列支撑的液态金属柔性密封复合材料，解决了传统封装材料无法同时兼顾可拉伸和高气密性的难题。相关研究成果 2 月 3 日发表于《科学》。

高性能密封材料可以防止外部破坏性气体/液体的渗入和内部活性物质的流失，对于保障柔性器件的长期稳定运行至关重要。然而，目前已有的封装材料无法同时兼顾密封性能与可拉伸性能。例如，金属、陶瓷薄膜封装材料气密性好，但不具备可拉伸性；柔性弹性体封

装材料可拉伸性能优良，但气密性差；传统金属、陶瓷与弹性体复合的封装材料可拉伸性能与密封性能往往相互制约，无法满足先进柔性器件的可靠封装需求。

针对这一挑战，研究团队设计制备了基于液态金属的复合封装材料，通过将常见液态金属镓铟共晶合金（EGaIn）与弹性体材料复合，并巧妙利用微米玻璃球阵列作为支撑体，防止该封装材料在变形过程中塌陷而引起密封性能的衰减，开发了一种高气密性、可拉伸、能集成无线通信功能的封装材料。

论文共同第一作者、上海交通大学博士申清臣介绍，研究团队应用该液态金属密封复合材料，对基于水系电解质的可拉伸锂离子电池进行封装和性能测试发现，在自然未拉伸状态下，封装的锂离子电池可逆容量为 105.5mAh/g，经 500 次充放电循环后仍可保持 72.5% 的初始容量，而传统弹性体封装的电池在循环约 160 次后完全失效；在 20% 拉伸应变状态下，电池容量仍可维持在 105.0mAh/g，且在拉伸、弯曲、扭曲等变形状态下，其恒流充放电曲线和相应容量几乎保持不变。这表明此类器件作为可拉伸电子器件中的储能组件潜力巨大。

此外，研究团队还发现液态金属封装复合材料对乙醇等常用有机溶剂也具有优异的密封效果。这有望为柔性电子器件热管理提供全新、可靠的解决方案。

华科大团队制备超疏水阻燃复合材料

科技日报 2023.2.16

科技日报讯（记者吴纯新 通讯员高翔）近日，科技日报记者从华中科技大学（以下简称华科大）获悉，该校化学与化工学院瞿金平院士团队关于“受防护林启发具有根—土互锁微纳结构的超疏水阻燃复合材料”的研究成果日前在线发表于《先进功能材料》。

阻燃材料是指能够抑制或者延滞燃烧，而自己并不容易燃烧的材料，在电子电器、家电、化工、消防、国防等领域被广泛应用。

如今，不断升级的电子器件为现代生活提供了极大便利，但其高功耗引发的热量累积对绝缘阻燃材料的适用性和耐久性提出了更高要求。

基于此，瞿金平团队受河滩防护林根—土互锁结构固土的作用启发，结合工业化的微挤压压缩成型技术和简易的一步喷涂技术，制备了一种具有根—土互锁微纳结构的超疏水阻燃乙炔—醋酸乙烯酯/氢氧化铝复合材料。

据介绍，该超疏水阻燃复合材料表面水接触角为 $156 \pm 1.0^\circ$ ，滚动角为 $4 \pm 1.0^\circ$ ，且在高温、酸碱溶液、动态冲击等耐久性试验下具有优异的超疏水性。具体而言，仿生根—土互锁的微纳结构为阻燃复合材料提供了足够的润湿稳定性、优异的光热能力和稳健的适应性，从而有利于提高其耐酸性、耐热性、被动防冰和光热除冰性能。

此外，在界面和表面功能的协同作用下，该超疏水阻燃复合材料的阻燃性能显著提高，极限氧指数为 42%，阻燃性能达到 UL-94V-0 级，且峰值放热率、总放热量、峰值烟雾产生率和总烟气释放量均显著降低。

新型“变色龙”建材控温又节能

国家电网报 2023.1.31

美国芝加哥大学分子工程学院研究人员设计了一种类似变色龙的建筑材料，它可根据外部温度改变其颜色以及吸收或释放热量。在炎热的天气里，这种材料可释放出高达 92% 的红外线热量，帮助冷却建筑物内部；在较冷的天气里，这种材料只发射 7% 的红外线，有助于建筑物保温。研究成果近日发表在《自然·可持续发展》杂志上。

这种建筑物的低能耗方法类似于在冷的时候加一层，热的时候脱一层，可在不消耗大量能源的情况下保持建筑物的温度。

据估计，建筑物占全球能源消耗的 30%，排放占全球温室气体总量的 10%。大约一半的能源足迹归因于室内空间的供暖和制冷。

研究人员此前已开发出辐射冷却材料，通过增强发射红外线的能力来帮助建筑物降温。红外线是人和物体辐射的不可见热量。此外，还有防止在寒冷气候下发射红外线的材料。

此次，研究人员设计了一种不可燃的“电致变色”建筑材料，它包含一个可呈现两种构象的层：保持大部分红外线热的固态铜，或发射红外线的水溶液。在任何选定的触发温度下，该设备都可使用少量电力，通过将铜沉积到薄膜中或剥离铜来诱导状态之间的化学变化。

研究人员在论文中详细介绍了该设备如何在金属和液体状态之间快速且可逆地切换。研究表明，即使在 1800 个周期后，在两种构象之间切换的能力仍能保持。

研究团队还创建了新材料在不同城市的典型建筑中降低能源成本的模型。他们报告称，在一栋普通的商业建筑中，用于引起材料电致变色的电力不到建筑总用电量的 0.2%，但可节省建筑每年供暖和制冷消耗能源的 8.4%。

全新形式中密度冰造出

有助揭示水在低温下奇特行为

科技日报 2023.2.7

科技日报北京 2 月 6 日电（记者刘霞）英国科学家在最新一期《科学》杂志上发表论文称，他们利用极冷钢珠，首次制造出一种名为“中密度无定形冰”的全新形式的冰，其没有整齐有序的晶体结构，密度与液态水的密度相同，有助科学家们更好地理解水在低温下的行为。

此前人们已知有高密度和低密度这两种类型的无定形冰，科学家认为，无法制造出中密度无定形冰（MDA）。但在最新研究中，伦敦大学学院的克里斯托夫·萨尔茨曼及其同事，将拥有六边形晶体结构的规则形状的冰置于一个装有冷却至 -200°C 轴承钢珠的玻璃杯中时，冰块与轴承钢珠碰撞产生的剪切力制造出了中密度无定形冰。

新制造出的中密度无定形冰是一些细白色的粉末，密度正好介于其他两种已知的无定形冰之间，几乎与液态水的密度完全相同。研究人员认为，这种无定形冰可能是所谓的玻璃相的水，后者是一种即使在极低温度下也表现为液体的物质。

液态水虽然看起来平凡无奇，但一旦冷却到极低温度，就会变得非常神秘。研究人员此前曾假设，超冷水可能同时以两种不同的液相存在，其中一种液相漂浮于另一种液相之上，但中密度无定形冰的存在使这一想法受到质疑。萨尔茨曼表示：“如果我们能够弄清楚中密度无定形冰是什么，那么我们将更好地理解液态水。”

萨尔茨曼指出，中密度无定形冰也可能是外太阳系内冰冻卫星的重要成分，这些奇怪的星球受到了由于其行星的引力而产生的强烈的剪切力，这可能为中密度无定形冰的形成创造了合适的条件。而且，当这些星球上的冰块升温时，释放出大量热量，可能会对这些星球的地质活动产生巨大的影响。

二氧化碳电解技术研发取得新进展

中国电力报 2023.2.1

本报讯（记者 于琳娜）近日，中国科学院大连化学物理研究所包信和院士、研究员汪国雄、研究员高敦峰团队在二氧化碳/一氧化碳电解制备燃料和化学品研究中取得新进展，相关成果发表在国际顶级学术期刊《自然—纳米技术》上。

该团队揭示了碱性膜电解器中二氧化碳/一氧化碳电催化还原反应覆盖度驱动的选择性变化机制，并组装出千瓦级电堆，其电解性能是目前文献报道最高值。该成果可以实现钢厂尾气或者化工尾气的高值化利用，为二氧化碳/一氧化碳电解技术从实验室到实际应用提供了技术基础。通过利用可再生能源产生的电能，二氧化碳电解反应可以将二氧化碳转化为高附加值燃料和化学品。乙烯、乙酸和乙醇等多碳产物具有较高的能量密度和市场需求，是理想的电解产物。然而，在工业级电流密度下高选择性生成多碳产物仍然存在很大挑战。

该团队基于钢铁工业排放出大量的二氧化碳/一氧化碳混合尾气这一现状，通过改变进料气组成来调变碱性膜电解器阴极氧化铜催化剂的微环境，实现了在工业级电流密度下高效二氧化碳/一氧化碳电解制备多碳产物。随着进料气中一氧化碳压力的增加，电解主产物逐渐由乙烯转变为乙酸，且电流密度显著增加。

“团队在电化学器件上进行了创新，研制了高性能碱性膜电解器件来电解二氧化碳/一氧化碳。”汪国雄介绍，“同时，我们通过改变反应气中一氧化碳分压来调控电极催化剂微环境，揭示了反应覆盖度驱动的选择性转变机制。”

该项研究不仅为单一多碳产物的定向生成提供了重要参考，而且为二氧化碳/一氧化碳电解从实验室走向实际应用提供了技术基础。提及下一步研究方向，汪国雄说：“我们将进一步开展放大研究，研制大规模的碱性膜电堆和系统，提高在实际工况下的稳定性，实现在工业领域的示范运行。”

全国已投运新型储能项目装机规模达 870 万千瓦

中国电力报 2023.2.14

“截至 2022 年底，全国已投运新型储能项目装机规模达 870 万千瓦，平均储能时长约 2.1 小时，比 2021 年底增长 110% 以上。”国家能源局能源节约和科技装备司副司长刘亚芳介绍。

2022 年是我国新型储能高速发展的一年。无论是政策、技术，还是应用、市场机制及产业链等方面均实现突破。究其背后原因，刘亚芳从多维度予以分析。

“双碳”目标创造良好机遇 顶层设计奠定政策基础

刘亚芳表示，碳达峰碳中和目标的提出，为储能快速发展创造了良好机遇。为推动实现碳达峰碳中和目标，加快建设高比例可再生能源的新型电力系统成为我国能源事业发展的重要任务。风电、光伏发电存在间歇性、随机性、波动性，现有电力系统要接受和消纳大规模高比例波动性强的风电、光伏发电，亟须大力发展各类储能以弥补电力系统灵活性调节能力缺口。

在此背景下，支撑技术产业发展的顶层设计不断完善，为新型储能快速发展奠定了政策基础。刘亚芳介绍，国家能源局认真贯彻落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略，锚定“双碳”目标，大力加强新型储能行业宏观引导，促进产业规模快速发展，带动技术创新多元化，为支撑构建新型电力系统提供了宝贵经验。

“近一年多来，国家能源局会同国家发展改革委出台《关于加快推动新型储能发展的指导意见》《“十四五”新型储能发展实施方案》《新型储能项目管理规范（暂行）》《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》等一系列政策，开发建设全国新型储能大数据平台，初步建立了全国新型储能行业管理体系，统筹推动全国新型储能试点示范，为新型储能技术创新应用和产业高质量发展奠定了基础。”刘亚芳透露，目前，全国所有省（区、市及新疆生产建设兵团）均已不同程度开展新型储能发展政策研究。

“随着政策体系逐步完善和市场环境不断优化，多种示范引领带动效果凸显，新型储能发展进入了快车道。”

技术突破推动行业进步 多项利好激发建设热情

较之于传统的抽水蓄能，新型储能选址灵活、建设周期短、响应快速灵活、应用场景多元，与抽水蓄能可以形成优势互补，在不同的场景中解决新能源接入电力系统时带来的强随机性、高波动性等问题。

而技术突破和经济性提高，为新型储能快速发展进一步创造了有利条件。

“截至 2022 年底，全国新型储能装机中，锂离子电池储能占比 94.5%、压缩空气储能 2.0%、液流电池储能 1.6%、铅酸（炭）电池储能 1.7%、其他技术路线 0.2%。”刘亚芳介绍，近年来，国家新型储能技术发展速度不断提升，能量密度、功率密度和循环寿命大幅

提升，安全防控技术和措施不断完善。储能用锂离子电池能量密度较十年前提高了一倍以上，功率密度提升约 50%，目前已形成较完备的产业链；液流电池、钠离子电池、压缩空气储能、飞轮储能等技术发展迅速。

“尽管上游原材料价格快速增长，以锂离子电池为主流的储能电池系统成本仍呈下降趋势。新型储能行业整体处于研发示范向商业化初期的过渡阶段，并逐步形成产业化体系。”刘亚芳说。

在行业多项利好的刺激下，地方政府和各类市场主体发展建设新型储能积极性高涨。据刘亚芳介绍，截至 2022 年底，累计装机规模排名前 5 的省份分别为：山东 155 万千瓦、宁夏 90 万千瓦、广东 71 万千瓦、湖南 63 万千瓦、内蒙古 59 万千瓦。

与此同时，各地加大新型储能发展研究力度，制定专项规划或者在相关能源规划中明确新型储能发展目标，通过开展省级试点示范、制定补贴政策等方式大力推动新型储能发展。能源企业、社会资本等各种投资主体对于新型储能的投资热情高涨，加快了新型储能项目建设和落地进度。（莫非）

甘肃新型储能发展前景分析及对策建议

中国电力报 2023.2.17

产业优势

- 明显的政策优势
- 更强的电网架构、丰富的风光资源、适宜的储能技术

面临的问题

- 储能产业链还不完善
- 新型储能项目建设缺乏行业标准
- 新型储能参与市场的机制不健全

发展建议

- 尽快制定甘肃省新型储能产业发展规划
- 尽快制定新型储能相关行业标准
- 鼓励储能企业在市场经济中参与竞争

“双碳”背景下，储能行业迎来新的发展机遇，新能源配置储能成为能源转型的必然选择，“风电+储能”“光伏+储能”等更是大势所趋，如今储能正阔步走向商业化，未来储能市场前途广阔。

甘肃发展储能产业的优势

明显的政策优势。《甘肃省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》指出，开工建设玉门昌马等抽水蓄能电站，谋划实施黄河、白龙江干流甘肃段抽水蓄能电站项目。推动储能成本进一步降低和多元利用，开展风储、光储、分布式微电网储

和大电网储等发储用一体化商业应用试点示范。到2025年，全省风光电装机达到5000万千瓦以上，可再生能源装机占电源总装机比例接近65%，非化石能源占一次能源消费比重超过30%，外送电新能源占比达到30%以上。

更强的电网架构。甘肃省电网架构不断完善，“十三五”期间，建成了首条以输送新能源为主的特高压直流输电通道，省际外送电量连年增长。甘肃已通过18条750千伏线路与宁夏、青海、新疆、陕西联网，输电容量从2016年的1400万千瓦增至目前的2300万千瓦，形成与陕西、宁夏、青海、新疆四省区贯通的电网结构，电力电量交换能力显著提升，进一步巩固了甘肃电网在西北电网“坐中四连”的枢纽地位。全省主网架实现由330千伏到750千伏的升级发展，形成了以兰州、白银为核心，向东西延伸、南北拓展的750千伏高压网架结构，从酒泉自西向东的3回750千伏线路成为河西新能源“西电东送”的重要保障通道。

丰富的风光资源。甘肃风光资源富集，是我国重要的清洁能源基地和“西电东送”产业基地。甘肃能源结构特点是“富煤、贫油、少气、风光优”，新能源基础雄厚。2021年已建成酒泉千万千瓦级风电基地和张掖、金昌、武威、酒泉4个百万千瓦级光伏发电基地，定西通渭的百万千瓦级风电基地建设初见成效。数据显示，截至2022年底，全省新能源并网装机3350万千瓦，占全省总装机的50.7%；风光发电量528.2亿千瓦时，占全省总发电量的26.81%，同比增长20.45%。

适宜的储能技术。《甘肃省“十四五”能源发展规划》提出要大力发展抽水蓄能，按照“多核快核、能开尽开”的原则，加快列入国家抽水蓄能中长期规划的昌马、黄羊、平川、东乡、康乐、积石山、黄龙等抽水蓄能电站建设，进一步提升全省电网系统调峰能力。研发完善太阳能移动电源和磷酸铁锂储能系列产品，逐步扩大对外影响力。

甘肃储能产业发展的问题及对策

甘肃是我国重要的清洁能源基地，具有发展储能产业的优势，但当前的发展还存在以下几点问题：

储能产业链还不完善。在储能产业链中，电池和储能系统是成本的核心。上游主要是各种原材料，包括正极材料、负极材料、电解液、隔膜、电子元件、结构件、辅助材料、柜体电缆、土建安装、增压装置等；中游主要包括储能电池、电池管理系统（BMS）、储能变流器（PCS）、能量管理系统（EMS）等；下游主要是发电侧、电网侧、用户侧等具体应用场景。储能产业链涵盖了众多领域和企业，但甘肃本土的相关企业并不多。

新型储能项目建设缺乏行业标准。一是新型储能项目应用场景丰富，广泛应用于电源侧、电网侧和用户侧等方面，但是不同储能技术对储能的规模、技术、性能要求差别很大，缺乏统一标准。二是虽然新型储能具有巨大的发展潜力，但储能电池在实际运行中面临存在安全风险和老化问题的制约。目前国内关于储能相关标准的建设还未形成有效体系，相应的政策制度也不够完善，新型储能项目建设缺乏行业标准；全球储能安全体系正在形成过程中，还有很多方面需要进一步完善。

新型储能参与市场的机制不健全。近年来，我国电力市场经过了一系列改革，新型储能设备成本、运行成本不断下降，为新型储能项目靠自身技术经济性参与市场竞争创造了条件，但电力现货及辅助服务等市场建设还不够完善，不同投产时间、不同储能技术、不同储能项目之间成本差异较大，存在同一市场规则下难以同台竞技的问题，新型储能参与市场的机制不健全，难以发挥储能技术的市场优势。峰谷电价和季节性电价运用比重在各地均有所提升，但不同时段的价格差拉开距离不够充分，限制了储能的利润空间，不利于储能规模的快速发展。

建议方面，一是建议政府主管部门尽快研究制定新型储能项目参与电力市场竞争的管理办法，尽快制定甘肃省新型储能产业发展规划，从政策角度推动新型储能产业健康发展。二是建议有关单位深入分析不同储能电站事故原因，尽快制定新型储能相关行业标准，有效引领、规范产业高质量发展。三是建议相关部门逐步放开新型储能参与市场竞争的条件，鼓励储能企业在市场经济中参与竞争，激发各类资本投资新型储能的积极性，为实现“双碳”目标和加快构建新型电力系统创造有利条件。（高翔）

新型储能发展成效初显难题仍存

中国电力报 2023.2.17

核心提要

●我国储能技术已实现“多点开花”，但储能技术发展依旧存在掣肘，仍需要不断强化技术创新

●储能正处于从商业化初期向规模化发展阶段，产业体系逐步成熟，是形成多种商业模式的关键时期

●要促进各种类型、各种产权性质的储能项目能够共同参与市场，并要逐步降低准入门槛

随着新能源大规模接入电网，电力系统也面临着电力电量平衡、系统安全稳定、新能源高效利用等多重挑战。储能以其灵活调节能力，逐步成为构建新型电力系统、推动能源绿色低碳转型的关键技术，为新能源消纳、电网控制能力提升提供重要支撑。

技术“多点开花”长时储能被寄予厚望

现阶段，我国储能存在多种技术路线，其中抽水蓄能以其技术成熟、效率高、容量大、经济性好等优势占据主要市场。但随着新能源装机规模快速扩张，抽水蓄能难以完全满足调峰调频需求，以电化学储能为代表的新型储能应运而生。2月13日举办的国家能源局例行新闻发布会上数据显示，截至2022年底，全国已投运新型储能项目装机规模达870万千瓦，平均储能时长约2.1小时，比2021年底增长110%以上。

记者从中关村储能产业技术联盟（CNESA）了解到，从技术应用上看，2022年，锂离子电池仍然占据新型储能的主导地位，新增投运装机规模首次突破600万千瓦，时长仍以1

~2 小时为主，4 小时以上的项目开始增多，如新疆、河北、青海、西藏等地已布局了 1000 万千瓦以上的项目。

其他技术路线规模实现突破，应用逐渐增多。压缩空气储能方面，正在由 10 万千瓦向 30 万千瓦功率等级方向加速发展，2022 年新增压缩空气储能项目（含规划、在建和投运）接近 1000 万千瓦，单次储能时长最高达 12 小时；液流电池方面，首个百兆瓦级全钒液流电池项目并网运行，首个吉瓦时级全钒液流电池项目正式开工；钠离子电池方面，国内最大规模钠离子电池项目落地安徽阜阳，规模 3 万千瓦/6 万千瓦时；飞轮等短时高频技术方面，需求开始慢慢增大，已有 30 万千瓦以上的项目处于规划中。

目前我国储能技术已实现“多点开花”，但储能技术发展依旧存在掣肘，仍需要不断强化技术创新。

“在技术方面，尽管各种储能技术都发展很快，但总体来说，当前技术水平在效率、规模、安全、成本、寿命等方面尚无法完全满足新型电力系统应用的要求；部分储能技术的成熟度尚需提高，部分核心技术还未完全掌握。”中国能源研究会储能专委会主任陈海生说，要强化储能技术创新，通过项目和政策支持，开展储能原理和关键材料、单元、模块、系统和回收技术等研究，突破一批具有关键核心意义的储能技术。同时，不断推进储能技术与装备的研发示范，通过不同技术路径和场景的应用示范，探索技术创新方向。在技术示范的基础上，加强引导和扶持，促进产学研用结合，加速技术转化。

“基于国内资源禀赋，要加快建设布局抽水蓄能电站，加速新型储能技术创新突破与商业化应用，储能设施应实行大中小相结合、发电侧电网侧用电侧布局相结合、集中与分散建设相结合、多品种多业态并存。”国家电网副总工程师兼国网能源研究院执行董事（院长）、党委书记欧阳昌裕指出，国家需要建立完善相关价格政策和激励机制，有序推进储能技术创新和产业链、价值链共建共享。

此外，以液流电池、压缩空气、重力储能、熔盐储能、液态空气、铅炭电池、氢储能等为代表的多种长时储能技术也被寄予厚望。

《“十四五”新型储能发展实施方案》（以下简称《方案》）明确，针对新能源消纳和系统调峰问题，推动大容量、中长时间尺度储能技术示范。结合各地区资源条件，以及对不同形式能源需求，推动长时间电储能、氢储能、热（冷）储能等新型储能项目建设，促进多种形式储能发展。

据不完全统计，2022 年，浙江、山东、河北、青海等多地公布了新型储能示范项目名单，项目数量和装机量均大幅增加，总装机约 1800 万千瓦，其中长时储能的项目装机占比显著扩大。

业内专家预测，未来新型储能发展一方面配置时长将由“十四五”时期的 2~4 小时逐步延长至 6~8 小时，新能源装机占比达到 15%~20% 后，4 小时以上的长时储能需求将成为刚需；另一方面，新型储能将大规模发展，一部分用于电源侧，推动“新能源+储能”

绿色友好电源发展，另一部分布局在电网侧发挥电力支撑作用。

据了解，在市场方面，截至 2022 年底，已有 10 余家长时储能企业完成融资，融资金额总计超 10 亿元，技术路线主要集中在压缩空气储能和液流电池储能领域。南方黑芝麻、创维新能源、龙净环保等企业也在“跨界”参与其中。

创新商业模式期待市场机制改革再深化

业内人士普遍认为，目前储能正处于从商业化初期向规模化发展阶段，产业体系逐步成熟，是形成多种商业模式的关键时期。

对于储能商业模式发展方向，《方案》明确，加快推动商业模式和体制机制创新，在重点地区先行先试。推动技术革新、产业升级、成本下降，有效支撑新型储能产业化可持续发展。在政策的催化下，2022 年全国电力市场机制改革深化推进，新型储能商业模式被不断激活。

记者从 CNESA 了解到，2022 年，山东省新型储能首次参与现货市场，独立储能可以通过现货套利、容量租赁、容量电价补偿获得收益；甘肃省建立了首个新型储能参与的调峰容量市场，通过容量补偿实现灵活性调节资源固定成本的有效疏导，独立储能可以通过参与现货市场、调峰容量市场、调频市场获得多重收益；南方、西北、华北、华东等区域修订了新版“两个细则”，再次明确新型储能的市场主体地位，并推动新型储能参与多项品种的交易。

“目前虽然新型储能发展速度非常快，但是我们认为收益和商业模式问题仍然没有得到很好的解决。”中关村储能产业技术联盟副秘书长李臻表示，目前新型储能在国内还没有一个稳定的商业模式，无论是可再生能源配置储能还是新型储能参与辅助服务市场等，受政策影响非常大，商业模式还不清晰，盈利是比较困难的。

据了解，现阶段，在工商业电价差较大的地区用户侧储能初步具备盈利能力，而其他应用场景缺乏有效的商业模式和市场机制，大规模投资建设的驱动力不足。

“在辅助服务市场政策较好的地区，储能参与调频的收益较为可观，随着新版‘两个细则’的推动，按效果付费的改革思路正在各区域推进，新型储能参与的市场品种正逐步增加。”李臻认为，目前新型储能参与辅助服务市场依赖政策的稳定和市场价格机制。在成熟的电力市场中，新型储能可以参与现货市场、辅助服务市场、中长期市场、容量市场，通过参与不同的品种交易，更好发挥其容量价值和电量价值，获得多重价格收益，形成可持续发展的商业模式。

“当前储能电站等项目参与辅助服务的种类比较单一，储能电站的功能在设计建设初期就已经确定了，但实际上储能资产的利用率要提升，应在不同时间段参与不同的辅助服务，提供不同的辅助服务，开展‘分时复用’的商业模式，以提升储能电站收益，实现利益最大化。”清华大学电机系副教授钟海旺认为，要促进各种类型、各种产权性质的储能项目能够共同参与市场，并要逐步降低准入门槛。

值得关注的是，目前我国共享储能的模式发展比较迅速。共享储能可作为独立主体参与市场，可通过容量租赁费、现货能量套利、参与辅助服务市场多个渠道获得收益，可接受电网统一调用，提升系统的利用效率，降低新能源场站配储的初始投资。青海、湖南、山东等地依据不同的需求，已陆续开始建立相应的共享储能的商业模式，但是普遍没有形成较好的盈利性。

未来应如何推进储能的商业化和规模化发展？

“应结合储能应用场景，积极探索电力市场、‘新能源+储能’、削峰填谷、容量出租或出售、电网有效资产回收等储能商业模式，扩大各侧储能盈利空间，吸引各方主体主动投身储能发展与建设。”国网经济技术研究院新能源及综合能源技术中心项目处副处长原凯表示。

陈海生也建议，尽快建立能够直接反映电力供需关系和电能质量的电力市场价格机制；根据未来新型电力系统的实际需要增加新的辅助服务品种；建立储能服务的成本疏导机制和储能价格机制。（余璇）

我国首座无须配套变压器的移动式电池储能站建成 大容量电池储能站实现“说走就走”

科技日报 2023.2.23

98%

该电池储能站位于保定国家高新技术产业开发区，功率6兆瓦（MW），容量超过7.2兆瓦时（MWh），转换效率达到98%。电站的投运标志着我国高压级联关键技术研究取得成功，有效解决了电池储能站应用场景固定限制的难题。

不久前，我国首个移动式大容量全场景电池储能站——南方电网河北保定电池储能站正式投入商业运行。该电池储能站位于保定国家高新技术产业开发区，功率6兆瓦（MW），容量超过7.2兆瓦时（MWh），转换效率达到98%。电站的投运标志着我国高压级联关键技术研究取得成功，有效解决了电池储能站应用场景固定限制的难题。

此前，我国电池储能站主要采用低压380伏（V）储能系统，经变压器升压至10千伏（kV）后并入电网储能发电。不同于传统储能站，南方电网河北保定电池储能站应用了高压级联链式储能变流器拓扑，将电池组通过模块级联方式直接接入10kV高压交流系统。该储能站采取集装箱设计，各电池加装运输底座，成为我国第一座无须配套变压器的移动式电池储能站，可随时灵活“动”起来。

实现我国电化学储能领域的三个首次

“十四五”时期是我国新型储能发展的重要战略机遇期。《“十四五”新型储能发展实施方案》明确提出，到2025年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段，具备大规模商业化应用条件；到2030年，新型储能全面市场化发展。

新型储能是指除抽水蓄能以外的新型储能技术，是构建新型电力系统的重要技术和基础装备，是实现碳达峰碳中和目标的重要支撑。

“未来我国大规模的新能源并网消纳需要大电网的支撑，尤其是随着新型电力系统建设不断推进，储能电站应用场景不断丰富，同时提出了储能系统可移动性能的新要求。在此背景下，我们开展了移动式大容量全场景电池储能站的研发。”南网储能公司储能科研院院长、高压级联项目负责人陈满介绍。该储能站的特点是大容量、可移动，不仅实现了储能高效率的目标，还丰富了移动式大容量储能电站作为“有源式”并网测试平台等应用场景。

“这好比原来开的是小汽车，受限于马力，每次只能拉 10 吨货。现在这个大容量全场景电池储能站是大卡车，直接拉 50 吨货甚至更多。”对于大容量，陈满打了一个形象的比喻。

据介绍，南方电网河北保定电池储能站的示范建设，实现了我国电化学储能领域的三个首次：首次运用了“H 桥”的级联结构，可在大幅减少储能系统数量的情况下，实现同等储能效率；首次研究应用电池簇间热阻隔技术，对电池柜作耐压绝缘和防火隔热处理，在电池阵列之间加装隔热板，大幅延长火灾等极端情况下的救援缓冲时间至 60 分钟；首次攻克了移动式大容量电池储能站黑启动关键技术，可为局部电网提供灵活、快速、可靠的黑启动电源服务。

大容量和可移动两种性能完美结合

如何突破大容量和可移动两种条件的相互制约，是研发团队遇到的最为棘手的问题。

“一方面，移动式电站在空间上的特点限制了硬件结构，如何在有限的空间内将电池、变流器、控制柜等设备高效地排列，同时保证电气绝缘可靠和热管理安全性，这是一个难题。另一方面，则是大容量、大功率储能系统设备繁多、结构复杂对移动性能的限制，如何在运输全过程中对集装箱及其内部设备状态进行监测、保障其可靠性，也是必须解决的难题。”南网储能公司储能科研院高压级联项目技术专家李勇琦介绍。

为此，团队对移动式大容量高压级联电池储能系统的绝缘结构进行解剖，创新性地将“H 桥”级联结构应用于移动式电站，可在大幅减少储能系统数量的情况下，实现同等储能效率，从而首次将储能电站大容量和可移动两种性能完美结合。

随着电化学储能蓬勃发展，电池热失控的问题被暴露在聚光灯下，储能系统安全性能是电化学储能发展的底线。

“我们不仅对‘事前’措施进行了创新和高效的设计，还首次采用了不燃耐火材料，对集装箱式储能电站做了簇间热阻隔设计，延长了‘事后’救援缓冲时间，实现了在有限的空间内采用最高效的安全措施。”李勇琦表示，这可在最大程度避免出现火烧连环船的情景。他们首次应用了电池簇间热阻隔技术，相当于在船与船之间加上阻燃板。一旦其中一艘船着火了，在一定时间内，仍能让火势不蔓延到旁边船只，为延长电池热失控救援时间提供了新的思路。

大面积停电后的系统自恢复被通俗地称为黑启动。针对储能电站的黑启动要求储能系统具有离网运行模式，且需具备零起升压、二次调频调压、频率范围控制等能力，对储能变流器提出较高要求。为此，团队逐一攻克了移动式大容量电池储能站黑启动的各关键技术难题。这是黑启动在移动式储能电站的首次应用，未来可为局部电网提供灵活、快速、可靠的黑启动电源服务。

可应用于各类电化学储能场景

“这样一座控制技术成熟、安全性能稳定的移动式大容量电池储能站，可应用于各类电化学储能场景。”陈满说。

在电源侧，该电站可平滑新能源出力波动，提供备用容量；在电网侧，该电站可改善输配电网络功率分布，满足设备检修和线路融冰等特殊时期的临时供电需求；在用户侧，该电站能够有效调节季节性区域内负荷，作为电网突发事件、春运等时段性事件的应急电源。此外，该电站还可以作为储能产品并网的性能测试平台，为不同储能产品性能对比提供大容量电源。

新能源“看天吃饭”的先天属性使其带有间歇性、波动性的特征，而电网又要保持电源和负荷的实时平衡。“该储能站所用到的高压级联关键技术，使电站具有单机容量大的优势，能为新型电力系统提供更好的调节服务，使得整个电网更加安全稳定。”陈满表示。

值得一提的是，自2020年起，南方电网公司在企业内部大力推动科技项目“揭榜挂帅制”落地实施，面向国家重大科研需求、行业科技前沿等领域发动科研人员技术攻关。该储能站的“高压级联储能系统规模化应用关键技术研究”是首批科技项目“揭榜挂帅制”试点项目之一，由南网储能公司“挂帅”攻关，与北京四方公司、上海交通大学等单位合作研究，推动产学研用一体融合实践。目前，项目已发表论文9篇、完成各类专利受理授权30余项，下一步项目将实现更大容量的高压级联，推广升级前景广阔。

当前，我国新型储能技术正加快发展，新型锂离子电池、液流电池、飞轮、压缩空气、氢（氨）储能、热（冷）储能等材料领域技术的相继涌现，带动产业热度的持续升温。预计到2025年末，新型储能在电力系统中的装机规模将达到3000万千瓦以上，年均增长50%以上。高压级联作为储能领域集成应用技术的创新突破，将持续助推储能产业模式的优化完善，为服务构建新型电力系统发挥积极示范作用。（叶青 黄昉）

科学家发明锂电池正极材料制备新方法

中国电力报 2023.2.2

据新华社北京1月14日电（记者魏梦佳 王琳琳）电池是新能源汽车和消费电子产品的“心脏”，续航极大程度影响着消费者的购买意愿。随着市场对续航要求的不断提升，高能量密度成为电池技术发展的主流趋势。科学家以锂电池正极材料为突破口，针对电池在高压服役时容易出现的失效和燃爆等安全问题，发明了一种材料制备新方法，可有效提升电池

续航能力。

该研究由北京大学教授黄富强、美国麻省理工学院教授李巨、清华大学助理教授董岩皓合作完成，相关成果 13 日在国际学术期刊《自然·能源》在线发表。

高电压是提升电池能量密度的重要途径之一。然而，随着电压的升高，锂电池容易出现正极材料晶体结构破裂、电解液分解、电池内部产气和体积膨胀等安全问题。为解决上述难题，研究团队发明了一种“渗镧”离子交换制备新方法，巧妙地在正极材料表面包覆了仅有几纳米厚的超薄钙钛矿“保护层”，显著提升了材料在高电压下的循环稳定性。

《自然·能源》审稿专家认为，研究团队创新性提出了一种三维应变钙钛矿包覆锂电池层状正极材料的“准外延”结构设计新思想，其独创的“渗镧”制备新方法十分亮眼。研究的核心创新点在于实现了超薄钙钛矿纳米层的高度均匀性包覆，可调控性强，有效抑制了材料中氧气的释放，这是目前产学研界已知包覆方法难以实现的。

日本发现降低物质热传导率新机制

中国电力报 2023.2.6

据新华社东京 1 月 19 日电（记者 钱铮）提高电子设备的性能、节能率等都离不开对物质导热难易程度即热传导率的调节。日本研究人员最新发现，在金属互化物晶体结构的隧道中，构成原子链的原子间的距离越近，化合物的热传导率越低，这有望成为研发高性能热电材料的新指针。

日本京都大学日前发表新闻公报说，利用热电材料将温差产生的热能直接转换成电能的热电发电目前备受关注。高性能热电材料应具备温差电动势高、导电率高、热传导率低等特征。不过，除了热传导率外，其他各项特征彼此消彼长的关系，某项指标改善了，另一些指标就会恶化。因此，高性能热电材料需要热传导率低，同时其他各项特性要平衡到最合适的状态。

公报说，该机构研究人员参与的团队，以晶体结构的隧道空间内包含钠原子链的几种锡基金属互化物（包括钠-铝-锡系化合物、钠-镓-锡系化合物、钠-铟-锡系化合物和钠-锌-锡系化合物）为对象，合成多晶样品并评估样品的各项热电特性。他们发现，钠-镓-锡系化合物在接近室温的环境下表现出能匹敌已进入实用阶段的铋-碲化合物的高热电性能。

进一步分析各化合物的晶体结构，研究人员发现，隧道空间内构成原子链的钠原子沿着隧道延伸的方向以异常大的振幅振动，钠原子之间的距离越近，化合物的热传导率也就越低，流失的热量越少，越有利于热能更有效转化为电能。

公报说，振动的原子互相接近能使热传导率下降，这一新机制的发现为今后研发高性能热电材料开辟了新的道路。研究人员下一步计划研发能在各领域作为能量转换装置使用的高性能热电材料。相关研究成果已发表在德国《先进材料》杂志上。

锂空气电池能量密度有望创新高

历经千次充放电循环仍保持稳定

科技日报 2023.2.25

科技日报北京2月24日电（记者刘霞）据最新一期《科学》杂志报道，美国能源部阿贡国家实验室和伊利诺伊理工学院研究人员携手开发出一种新型锂空气电池，其使用固体电解质，不仅安全，且历经1000次充放电循环仍保持稳定。进一步研究有望让其能量密度达到锂离子电池的4倍，不仅能为电动汽车提供更长的续航里程，也有望为飞机和长途卡车提供电力。

研究团队解释称，新型锂空气电池的主要新成分是固体电解质，而非通常使用的液体电解质，液体电解质电池可能会因过热而起火。

此外，过去的锂空气电池在放电过程中，金属阳极中的锂会穿越液体电解质与氧结合，在阴极处产生过氧化锂或超氧化锂。在充电过程中，过氧化锂或超氧化锂被分解成锂和氧。而最新研制电池中的固体电解质由一种陶瓷聚合物组成，这种聚合物材料由相对廉价的元素以纳米颗粒的形式制成，能在放电时产生氧化锂。

阿贡国家实验室研究人员表示，产生超氧化锂或过氧化锂的化学反应只涉及每个氧分子存储的一个或两个电子。而产生氧化锂的化学反应则涉及4个电子，储存的电子越多，意味着能量密度越高。最新研制出的锂空气电池是首个在室温下实现4个电子反应的锂空气电池。

研究团队指出，此前的锂空气电池循环寿命非常短，而新产品历经1000次充放电循环仍能保持稳定。此外，随着进一步开发，新款锂空气电池的能量密度将高达创纪录的1200瓦时/千克，几乎是锂离子电池的4倍。

三、碳达峰、碳中和、能源数字化

北京将建面向全球的国家级绿色交易所

中国高新技术产业导报 2023.2.13

北京绿色交易所日前落户北京城市副中心，定位为面向全球的国家级绿色交易所，未来将作为全国温室气体自愿减排交易中心，以及全球绿色金融和可持续金融中心的基础设施，聚焦强化碳定价、碳量化和碳金融三大核心能力，为更多排放企业或主体提供服务。

近日举行的“北京城市副中心建设国家绿色发展示范区——打造国家级绿色交易所启动仪式”上，北京绿色交易所与六省市国家首批气候投融资试点城市签署气候投融资战略合作协议。

2021年11月，《国务院关于支持北京城市副中心高质量发展的意见》提出，推动北京

绿色交易所承担全国自愿减排等碳交易中心功能的基础上，升级为面向全球的国家级绿色交易所，建设绿色金融和可持续金融中心。

北京绿色交易所董事长王乃祥表示，政策发布以来，绿色交易所积极贯彻国务院和北京市委市政府政策部署，承建全国温室气体自愿减排交易中心、服务全球绿色金融和可持续金融中心建设。

王乃祥介绍，全国统一的注册登记系统和交易系统已开发完成，为建设自愿减排市场提供重要的基础设施保障。目前，注册登记系统已完成减排项目、减排量的登记、签发等全流程业务功能开发；交易系统方面，已具备交易主体管理、交易组织、交割结算、风控监管等核心业务功能。

业内人士认为，中国碳市场前景广阔，特别是全国自愿减排交易市场具有很大潜力。北京绿色交易所发展国家核证自愿减排量交易，创新更多碳金融产品，将更好地服务碳市场参与主体，推动降低绿色溢价，引领带动绿色转型发展。

中国人民银行行长易纲表示，绿色交易所可以发挥的作用主要有两点，一是使碳定价逐步接近其社会成本，谁排碳谁承担成本；二是稳步降低绿色溢价，从成本上使企业、家庭愿意选择用绿色能源。

易纲介绍，2021年，人民银行推出碳减排支持工具，按照市场化原则，为清洁能源、节能环保和碳减排技术三个领域内的企业提供优惠利率贷款。“这对于引导绿色理念，转变经济主体行为，推动碳核算和环境信息披露，具有积极意义。”

据介绍，未来，北京绿色交易所将持续强化碳定价、碳量化和碳金融三大核心能力，打造双碳管理公共平台和国家级绿色金融基础设施，建立反映企业和项目排放量的碳账户体系，创新绿色债券等金融产品和服务，促进“一带一路”绿色产业绿色项目合作，服务国家绿色发展示范区建设，助力国家高质量发展和双碳目标实现。（倪元锦）

温室气体排放测量联合实验室揭牌

中国能源报 2023.2.13

本报讯 2月7日，在河南郑州高新区郑州计量先进技术研究院（以下简称“郑州计量院”）新院区，由中国计量科学研究院、中国环境监测总站联合，依托郑州计量院成立的“温室气体排放测量联合实验室”（以下简称“联合实验室”）揭牌仪式举行。

联合实验室聚焦碳排放测量和碳监测数据质量的提升。“实验室拥有国内唯一、全球第二的大口径烟道流量计量标准装置，结合自主研发的现场烟道流量校准仪，建立了国内首个完整的烟道碳排放量值传递体系。”中国计量科学研究院党委书记、副院长段宇宁在介绍联合实验室情况时说到，“作为企业气态污染物和碳监测流量数据的量值源头，实现了企业烟道碳排放量数据的‘报告的一吨即排放的一吨’。”

企业是我国碳交易市场的参与主体，企业碳排放量的数据质量关系到碳市场的公平性，

资料显示，烟道碳排放量现场测量时，使用常规的量值溯源方法测量，平均误差能达到50%。

“联合实验室采用实验室烟道流量计量装置，结合自主研发的现场烟道流量校准仪器，可以将测量误差降低至5%以内。”郑州计量院副院长张亮接受大河财立方记者采访时表示，“借以保证郑州乃至全国的工业企业的碳排放量数据是准确的，维护碳交易市场公平性。”

近日，中共河南省委、河南省人民政府印发了《河南省碳达峰实施方案》，方案中提到，到2025年，全省非化石能源消费比重比2020年提高5个百分点，确保单位生产总值能源消耗、单位生产总值二氧化碳排放和煤炭消费总量控制完成国家下达指标，为实现碳达峰奠定坚实基础；到2030年，全省非化石能源消费比重进一步提高，单位生产总值能源消耗和单位生产总值二氧化碳排放持续下降，顺利实现碳达峰目标，为实现碳中和目标打下坚实基础。

在张亮看来，联合实验室的成立，为助推“双碳”目标的实现，提供了有力的监测与计量支撑。

“通过烟道流量计量装置和现场烟道流量校准仪对城市整体的温室气体排放进行测量，再结合可移动差分吸收激光雷达测试系统等技术，定位精度优于10米，可以精准找到排放源。”张亮介绍。

此外，可移动差分吸收激光雷达测试系统还能进行企业和重点区域的无组织排放测量，“即非烟道、分散的排放测量，通过快速核查系统，实现无组织排放的可视化，助力环保督查。”张亮说。

据了解，针对国内碳排放监测市场的多元化需求，联合实验室在烟道排放连续监测仪器方面，正在研制的光学流量计、超声波流量计、三维矩阵式皮托管流量计等研制工作也在进行中。（郝楠楠）

广西发布碳达峰实施方案

将重点实施“十大行动”

中国环境报 2023.2.6

本报讯 广西壮族自治区人民政府近日印发《广西壮族自治区碳达峰实施方案》（以下简称《方案》），提出到2025年，非化石能源消费比重达到30%左右；到2030年，非化石能源消费比重达到35%左右，单位地区生产总值二氧化碳排放下降确保完成国家下达的目标，与全国同步实现碳达峰。《方案》明确了重点任务，将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，并重点实施能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、工业领域碳达峰行动、城乡建设碳达峰行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳汇能力巩固提升行动、绿色低碳全民行动、各市县扎实推进碳达峰行动等“碳达峰十大行动”。《方案》明确，要优化产业结构，加快退出落后产能，大力发展战略性

新兴产业，加快传统产业绿色低碳改造，推动制糖、有色金属、机械、汽车、钢铁、建材、石化化工等传统产业加快产业结构、产品结构优化调整。《方案》提出，将绿色低碳理念贯穿于交通基础设施规划、建设、运营和维护全过程，降低全生命周期能耗和碳排放。此外，《方案》还提出了政策保障及组织实施的具体措施，对碳达峰工作成效突出的地区、部门按规定给予激励奖励，对未完成目标任务的地区、部门依法依规实行通报批评和约谈问责。（蓝皓璟）

我国科学家构建出新型人工碳晶体

中国电力报 2023.2.6

新华社合肥1月12日电（记者 戴威）近年来，富勒烯、纳米碳管、石墨烯和石墨炔等新型碳材料的发现和发展，引起广泛关注与研究热潮。近期，中国科学技术大学朱彦武教授研究团队在常压条件下构建了碳60聚合物晶体以及长程有序多孔碳晶体，并实现了其克量级制备。

据了解，此前，对于制备这类新型碳材料，研究人员要么是利用高温高压等极限条件，要么是采用紫外光、电子束辐照等微观处理技术。但其产率较低、产物不纯，阻碍了人们对这类材料的性质与应用进行更深入探索。

在此次研究中，科研团队创造性地使用氯化锂对富勒烯碳60分子晶体进行电荷注入，并在温和温度下进行热处理，最终得到大量的碳60聚合物晶体以及长程有序多孔碳晶体。

据朱彦武介绍，长程有序多孔碳晶体是一类新的人工碳晶体，未来可能在能量存储、离子筛分、负载催化等领域具有潜在应用。电荷注入技术为构建这类碳基晶体材料提供了一种拼“乐高”积木式的制备技术，有望成为在原子级精度上调控晶体结构的新手段。

“接下来，我们将系统地研究长程有序多孔碳晶体的性质，期望通过精细调节实验参数进一步调控晶体的原子级结构特征，探索更多的性质和应用。”朱彦武说。

1月12日，相关研究成果发表于国际学术期刊《自然》杂志。

我国建立首个汽车产业链碳公示平台

中国电网报 2023.2.14

2月9日，我国首个汽车产业链碳公示平台在北京发布，这也是全球首个针对汽车全产业链的碳足迹信息公示平台。这一平台的上线，将对汽车工业绿色低碳高质量发展提供新的动能。

记者了解到，汽车产业链碳公示平台覆盖国内5000余款乘用车以及零部件、车用材料三大类产品的碳排放数据，包含碳足迹、碳减排量、碳标签等10多项数据信息。从材料生产到报废回收，一辆汽车的碳排放如何呢？以一款中级纯电动轿车为例，它的全生命周期碳排放为36.4吨，其中材料、零部件与整车等制造环节碳排放16吨，使用环节碳排放约20.4

吨。

中国汽车技术研究中心党委书记、董事长 安铁成：中国汽车产业链碳公示平台是我们打造数字化降碳的典型中国方案，开展产品碳足迹数据公示，有助于补足当前汽车产业所存在的碳减排意识薄弱、碳核算方法薄弱、碳核算数据薄弱、产业链协同薄弱四个薄弱的突出问题。

中汽中心负责人同时表示，这一平台的上线，将加大企业的碳减排动力，将涵盖整车、零部件、车用材料等全产业链碳体系数据。同时，可以让消费者更清楚地识别低碳汽车，引导绿色低碳消费。通过碳足迹信息公示，以及碳标签的推广使用，提高社会公众对于低碳产品的认知与支持。

陕西印发碳达峰实施方案

到 2025 年，非化石能源消费比重达 16%

中国环境报 2023.2.23

本报讯 陕西省政府近日印发《陕西省碳达峰实施方案》（以下简称《方案》），提出到 2025 年，全省非化石能源消费比重达 16% 左右；到 2030 年，非化石能源消费比重达 20% 左右，实现 2030 年前碳达峰目标。

根据《方案》，“十四五”期间，全省产业结构和能源结构调整优化取得明显进展，源头低碳、过程减碳、末端固碳的碳减排体系初步形成，绿色生产生活方式得到普遍推行。“十五五”期间，清洁低碳安全高效的能源体系初步建立，重点领域低碳发展模式基本形成，重点耗能行业能源利用效率达到国内先进水平，绿色低碳技术和产业化应用取得实质性突破，碳减排体系全面建立。

《方案》提出，加快建立清洁低碳安全高效的能源体系，推进化石能源清洁高效利用和转型升级，大力发展非化石能源，推进多元储能系统建设与应用，加快建设新型电力系统，优化完善电力基础设施。深入推进节能降碳增效，实施节能降碳重点工程，加强重点用能单位节能管理，推进重点用能设备节能增效。

推动工业体系碳达峰和绿色转型。加快产业结构优化升级，依法依规淘汰焦炭（兰炭）、镁冶炼、水泥等行业落后产能，壮大绿色环保战略性新兴产业，推动煤化工高端化多元化低碳化发展，强化石油化工集约化发展，促进钢铁产业低碳化发展，推动建材领域绿色化发展，推动有色金属特色化发展，坚决遏制高耗能、高排放、低水平项目盲目发展。

加快推进城乡建设绿色低碳发展，开展城镇绿色低碳更新，推广绿色建材和绿色建造方式。加快形成绿色低碳交通运输方式，优化交通运输工具装备用能结构，加大新能源汽车推广力度，完善绿色低碳型交通运输网络，推动机场、铁路、公路既有设施的信息化、绿色化改造。

大力发展循环经济，深入推进园区循环低碳发展，深入开展产业废弃物综合利用，大力

推动再生资源回收利用，推动城乡垃圾减量化资源化，全面推进生活垃圾分类。加快推进绿色低碳科技创新，提高碳减排科技成果转化能力，推动低碳装备制造制造业集聚发展，培育壮大节能环保、清洁生产、清洁能源、碳捕集利用封存固化等新产业、新业态，激活绿色低碳发展新动能。

增强生态系统碳汇能力，严守生态保护红线，科学开展国土绿化，强化森林资源保护修复，加强退化土地修复治理，大力发展绿色低碳循环农业。广泛开展生态文明宣传教育，引导公众践行绿色低碳生活方式，鼓励企业主动履行绿色低碳责任，推进公共机构绿色低碳改造，促进服务业绿色低碳转型，提高全社会绿色低碳发展水平。（侯佳明）

“双碳”背后，新型能源科技正发力

中国科学报 2023.2.16

“要实现碳达峰、碳中和的目标，能源电力必须实现绿色低碳转型。”近日，2022年中国电机工程学会年会主会场上，中国工程院院士、中国电机工程学会理事长舒印彪指出，“实现能源电力转型，必须将科技创新作为根本动力。”

本次活动在湖北省武汉市举行，来自各地的行业专家围绕“科技创新支撑新型能源体系构建”主题展开交流研讨。其中“双碳”话题备受关注。

氢能将在减碳中发挥重要作用

在主旨报告环节，中国科学院院士、南京大学教授邹志刚作了题为《国家“双碳”目标下的新能源发展——机遇与挑战》的报告。

邹志刚指出，随着新一代科技革命和产业变革的深入，“双碳”战略构建新发展格局和推动高质量发展，新能源和数字经济深度融合，我们的生产生活方式加速转向绿色化、智能化……能源体系和发展模式正在进入非化石能源主导的崭新阶段。

他认为，氢能作为零碳绿色的二次能源，具有能量密度大、转化效率高、来源丰富和应用广泛等特点，是现代能源体系的重要组成部分，是最具发展前景的高效替代能源，正逐步成为全球能源转型发展的最重要载体之一，将深刻影响中国能源应用前景。

“氢能利用横跨电力、供热和燃料动力3个领域，因此氢能能与燃料电池技术发展在目前全球能源结构变革中占有重要地位。”邹志刚说，“在‘十四五’乃至更长的时间内，氢能源将在减碳进程中发挥重要作用。随着我国可再生能源发电量逐年增多、装机容量占比不断增大，氢储能系统可参与并网消纳，有效减少弃风弃光弃水率，提高可再生能源综合收益。”

应对减排挑战，新能源占主体地位

“今天，我们正在经历一场新能源革命。”中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高在报告中指出。

他这样描述新能源革命与碳中和的关系：“在碳中和目标的实现过程中，能源活动是主

体。中国的二氧化碳排放，能源活动就占了100亿吨；全球支撑碳减排的主要技术路径，新能源又占50%以上。因此，在应对减排的挑战中，新能源无疑占据主体地位。”

欧阳明高指出，中国在新能源发展方向上已经具备全球优势：可再生能源装机总量全球第一，光伏出口量占全球70%，新能源汽车销售量连续7年全球第一，动力电池产量接近全球产量的70%并大量出口。“数字背后，是真正的技术革命。”他说。

迅猛发展的同时，挑战无处不在。在欧阳明高看来，挑战集中体现在新能源动力系统和新能源电力系统。而这两个系统的问题最终体现于一个核心瓶颈——新型电力系统的电网灵活性。

“出路在哪里？就是靠氢能、储能、智能。”欧阳明高说。他重点介绍了长周期可再生能源的氢储能技术、短周期电化学电池储能技术和分布式车网互动电动汽车智慧储能技术，并介绍了清华大学新能源动力系统团队在这3方面取得的技术进展。

为建设新型电力系统构建良好生态

中国工程院院士、国家电网有限公司一级顾问郭剑波则在“双碳”目标的背景下，对新型电力系统的建立进行了深入剖析和阐述。

“在新型电力系统的演进过程中，保供应、保安全、促消纳，与电网、电力系统、能源系统及社会系统有紧密的交互关系。”郭剑波说。

他指出，从社会系统看，社会价值取向和政策法规是决定电力系统演进路径的最关键因素——不仅决定了电力系统实现“双碳”目标的速度和节奏，还决定了电力系统的生态、“安全-经济-环境矛盾三角形”的平衡态，以及体制机制和技术创新等。反之，电力发展也将直接影响社会系统发展。因此，建设“好生态”是电力和社会系统的共同责任和要求。

从能源系统看，能源低碳靠电力，电力安全靠能源。新型电力系统的发展与能源新技术革命是分不开的。

从电力系统看，平台枢纽作用越来越突出，是矛盾的焦点和解决问题的关键点。必须加快科技和体制机制创新，主动支撑社会和能源系统转型；必须加强与政府、能源企业的沟通，形成共识，有序推进演进；必须调动系统多利益主体和多层级市场的积极性，共同应对丰饶和短缺交织的市场和安全性挑战。

“我们需要创建的新型电力系统，是一个在现有电力系统基础上新旧技术结合，用新政策法规、新体制机制、新标准规范、新产业基础构建的，被赋予新理念的系统；是一个多系统交互、多能源耦合的系统或体系。”郭剑波在报告中总结道。

据悉，2022年中国电机工程学会年会自去年11月启动，采取线上线下相结合的方式，先后组织举行了学术报告发布会、清洁高效发电技术协作网年会等主题活动，并由直流输电与电力电子、电力系统自动化、清洁低碳发电、电力工程经济、电工数学等专委会承办了8场专题活动。（李晨阳）

让二氧化碳在海底“安家”

——我国海域二氧化碳地质封存研究透视

中国能源报 2023.2.23

党的二十大报告明确提出，积极稳妥推进碳达峰碳中和。为推进“双碳”目标实现，人们正在多方面探寻实现节能降碳的可能，更多的降碳技术开始受到关注，并走进大众视野。二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术便是其中之一。这种将二氧化碳从工业或其他碳排放源中捕集，并运输到特定地点加以利用或封存的技术，具有减排规模大、减排效益明显的特点，被形象地称为“碳捕手”。近期，自然资源部中国地质调查局首次发布了我国海域二氧化碳地质封存潜力评价结果，预测潜力达2.58万亿吨，为我国实现“双碳”目标注入一针强心剂。

海域二氧化碳地质封存，对缓解我国东南沿海地区碳中和压力具有重要现实意义。人类活动造成二氧化碳、甲烷等温室气体排放过量，导致全球气候变暖，而气候变暖又造成极端天气频发、海平面升高等问题，反过来影响着人类的生活。为减缓全球气候变暖趋势，科学家们研究了一种直接减少空气中二氧化碳含量的技术方法，那就是把空气中的二氧化碳收集起来，再“藏起来”。

把二氧化碳“藏”在哪儿，是这项技术要解决的难点之一。

科学研究发现，可利用工程技术手段将捕集的二氧化碳注入地面以下的深部咸水层、枯竭油气藏等地质体中，通过构造地层封存等方式实现二氧化碳与大气长期隔绝。这就是二氧化碳地质封存。

按照封存位置不同，二氧化碳地质封存分为陆域封存和海域封存。其中，利用海底以下深部地质结构封存二氧化碳，由于具有安全性高、环境风险小、封存潜力大等特点，而受到多国政府、工业界和学术界的高度关注。

在中国地质调查局的统一部署下，中国地质调查局发展研究中心海洋战略研究团队自2020年起，对国外海域二氧化碳地质封存现状及技术发展趋势进行了专题研究。研究发现，美国、欧盟、日本、澳大利亚等都制定了相应的研究规划，并开展了海域二氧化碳地质封存的基础研究、潜力评价、工程示范以及商业应用。

据该研究团队负责人张涛介绍，美国于2013年完成全国陆上和各州管辖海域的二氧化碳地质封存潜力评价和区划工作。日本JSCC公司自2014年起先后在日本周边的10处海域开展地质调查，目标是寻找可以封存1亿吨二氧化碳的潜力封存点。2019年，该公司首次在距北海道海岸4千米左右、海底约1000米~2500米深的地层成功实现封存30万吨二氧化碳。而针对海域二氧化碳地质封存可能引发的生态环境风险，欧盟国家则已开展了10多年的环境监测专项研究，研发了用于监测二氧化碳泄漏的传感器和技术方法，并于2020年开始实施海底二氧化碳封存环境监测工程。“这些研究工作的开展，在一定程度上证明了海域

二氧化碳地质封存具有经济和技术上的可行性。”张涛说。

根据中国科学院院士丁仲礼以及清华大学关大博教授团队创建的中国碳核算数据库估算，我国当前二氧化碳年排放量在 100 亿吨左右，约为全球总排放量的 1/4，资料显示，从我国实现碳中和目标减排需求来看，按照现在的技术发展预测，2050 年和 2060 年，需要通过二氧化碳捕集利用与封存技术实现减排量分别为 6 亿~14 亿吨和 10 亿~18 亿吨。我国东部沿海省份是能源和工业原料的主要消费区，也是二氧化碳排放大户。2020 年沿海 11 省（市）的二氧化碳排放量约占全国总量的近一半。但由于这些地区陆域沉积盆地面积小、分布零散，适宜碳封存的地质条件相对较差，封存潜力有限。为此，研究人员把寻找适宜封存二氧化碳场地的目光转向了海域。

“就我国而言，基于能源结构和产业布局现状，当前开展海域二氧化碳地质封存研究与实践，对我国实现‘双碳，目标尤其是缓解东南沿海地区碳中和压力，具有重要现实意义。”我国海域二氧化碳地质封存潜力评价工作牵头负责人、中国地质调查局青岛海洋地质研究所研究员陈建文表示。

具有巨大潜力，我国海域二氧化碳地质封存研究与实践步伐正在加快我国海域有没有适宜封存二氧化碳的场地？具体分布在哪里？

“幸好，我国海域地壳稳定性好、沉积盆地分布广、地层厚度大、构造地层圈闭多，具备封存二氧化碳的良好地质条件。”陈建文介绍，2010 年，中国地质调查局组织实施了“全国二氧化碳地质封存潜力评价与示范性工程”，对我国海域二氧化碳地质封存潜力进行了初步评估。

随着“双碳”目标的提出以及各地“双碳”行动的推进，我国海域二氧化碳地质封存研究与实践的步伐也逐渐加快。2021 年 8 月，我国首个海上二氧化碳封存示范工程在南海珠江口盆地实施。中国海洋石油集团有限公司将恩平 15-1 油田群开发伴生的二氧化碳封存于海底以下 800 米~900 米深度的储层，预计每年可封存二氧化碳约 30 万吨、累计封存二氧化碳 146 万吨以上。

尽管我国海域具有封存二氧化碳的潜力，但此前的潜力评价参数与相关数据主要来自公开资料，评价精度较低，尤其是针对工程级别的评价较少。为满足碳封存工作的实际需求，

2021~2022 年，中国地质调查局组织青岛海洋地质研究所、广州海洋地质调查局和发展研究中心等单位，充分利用 20 余年的海洋地质调查实测地质和地球物理数据，以及公开发表的商业性油气勘探开发等资料，系统开展了我国海域二氧化碳地质封存潜力评价，建立了中国海域地形地貌、盆地构造、沉积地层、水文地质、工程地质、地温场特征、油气勘探开发程度等七大类数据集，编制了包括地质条件、盆地评价和重点目标评价等系列图集。

据陈建文介绍，此次评价中，工作团队创新提出了符合我国海域地质条件的二氧化碳地质封存潜力评价方法与适宜性评价方法，对我国海域主要沉积盆地二氧化碳地质封存潜力和适宜性进行了系统评价。评价结果证实我国海域二氧化碳地质封存潜力巨大，预测盆地级封

存潜力达 2.58 亿吨，渤海、东海陆架、珠江口等盆地适宜进行二氧化碳地质封存。在此基础上，项目团队优选出重点目标区，为下一步海域二氧化碳地质封存示范工程选址提供了方向。

把握战略机遇期，加快海域二氧化碳封存产业化需要技术和政策两方面支持在生态文明建设和碳达峰碳中和的大背景下，我国如何把握战略机遇期，进一步推进海域二氧化碳地质封存？

中国地质调查局发展研究中心海洋战略研究团队的研究成果显示，从国际发展经验来看，“政府牵头主导、地质调查依托、企业各方参与、财税政策保障”是各发达国家推动海域二氧化碳封存产业发展的主要路径。特别是各国地质调查机构通过开展碳封存潜力评价、关键技术研发等工作，加速推动了海域二氧化碳封存的产业化和商业化发展。为此，海洋战略研究团队提出以下建议：

由于海域二氧化碳地质封存是一个复杂的系统工程，因此实施示范工程至关重要。目前，我国已开展燃煤电站二氧化碳捕集与储存示范，但海域二氧化碳封存示范工程还处在初步实施阶段，建议依托自然资源部等部门，联合相关院校和央企，尽快组成国家级专业团队，以安全高效为目标，以二氧化碳捕集与封存规模化为原则，以攻克全流程中的“卡脖子”技术为重点，尽快实施一批示范项目，进而寻求海域地质风险应对、工艺装备研发、环境监测等解决方案。

此外，相对于我国每年约 100 亿吨的二氧化碳排放量，目前能够捕捉的量仅几百万吨，规模不到万分之一。这既有技术方面的原因，也有政策方面的缺失。因此，建议相关部门支持和促进二氧化碳捕集与封存技术创新，同时加快海域二氧化碳封存产业和绿色金融政策研究，出台相应的技术和财税政策，支持企业在实现碳中和方面的发挥主导作用，积极构建“公益引导、科研支撑、商业跟进”的海域二氧化碳封存生态链，推动沿海省市离岸二氧化碳地质封存示范工程实施，构建二氧化碳捕集、利用与封存全流程产业链，助力地方经济发展和碳中和目标实现。（高慧丽 张淑胜）

四、生物质能、环保工程（污水、垃圾）

生物基材料创新发展迎政策利好

经济日报 2023.2.16

前不久，工业和信息化部等六部门联合印发《加快非粮生物基材料创新发展三年行动方案》，提出到 2025 年，非粮生物基材料产业基本形成自主创新能力强、产品体系不断丰富、绿色循环低碳的创新发展生态，非粮生物质原料利用和应用技术基本成熟，部分非粮生物基产品竞争力与化石基产品相当。

业内专家认为，《行动方案》旨在立足我国国情，推进基于非粮生物质的生物基材料加快创新发展，促进工农业协调发展，既助力乡村振兴和美丽中国建设，又能够加快石化化工

行业高质量发展指导意见与碳达峰实施方案落实。

助推化工行业绿色转型

生物基材料是利用谷物、豆科、秸秆、竹木粉等可再生生物质为原料制造的新型材料和化学产品，既包括通过生物合成、加工、炼制获得的生物醇、有机酸、烷烃、烯烃等基础生物基化学产品，也包括生物基塑料、生物基纤维、糖工程产品、生物基橡胶等。

“我国生物基材料产业发展较快，功能菌株、蛋白元件等关键技术不断突破，产品种类日益丰富，初步构建了以聚乳酸、聚酰胺率先产业化，多种生物基材料快速发展的格局。”中国石油和化学工业联合会生物化工与生物质能源专委会副秘书长李文军介绍，2021年我国生物基材料产量700万吨、产值超过1500亿元，占化工行业总产值的2.3%，并在塑料制品、纺织纤维、医药器械、涂料、农业物资、表面活性剂等方面得到广泛应用。例如，快递包装、一次性餐具及购物袋、婴儿纸尿裤等产品就是以生物基塑料制成的。

北京工商大学化学与材料工程学院院长翁云宣向记者透露，一批重点企业和科研院所积极推进生物基材料开发利用，聚乳酸生产规模已经超过5万吨，初步形成安徽蚌埠、山东寿光、河南濮阳等产业聚集区。在“双碳”战略引领下，生物基材料产业已成为石油和化工行业绿色转型热点方向，将迎来更多发展机遇。

总体而言，我国生物基材料正处于科研开发走向产业化规模应用关键时期，但仍存在诸多薄弱环节。翁云宣介绍，一方面，生物基材料成本普遍高出同类石油基产品30%以上，市场替代优势弱、推广应用难；另一方面，低浓度产物高效提纯分离、生物基聚合物合成等技术尚未突破。在此背景下，统筹谋划基于非粮生物质利用、促进生物基材料创新发展的政策，在生物基经济发展工作中先行先试、积极作为，提升国际综合竞争力，显得尤为重要。

聚焦“非粮”意义何在

要看到，当前生物基材料主要还是基于粮食原料。我国人均耕地、粮食保有量与部分资源丰富国家相比差异很大，虽然连年丰收、市场稳定，但是基于粮食原料发展生物基材料也难以为继，必然面临“与民争粮”“与畜争饲”等矛盾。因此，发展生物基材料必须树立贯彻“大食物观”，实施“藏粮于技”战略，将传统意义上的非粮生物质转换为发展生物基材料原料，间接提高我国单位耕地“粮食”产出。

“非粮生物质主要包括农作物秸秆、林业废弃物、薪炭林、木本油料林、灌木林、有机生活垃圾、畜禽粪污、生活污水污泥等。”李文军介绍，我国年产各类非粮生物质超过35亿吨。其中，农业废弃物9.6亿吨、林业废弃物3.5亿吨、有机生活垃圾1.5亿吨、畜禽粪污19亿吨、农产品加工废弃物1.5亿吨、污水污泥4000万吨。这些废弃物如果不能得到妥善处理，不仅会给环境和居民健康带来巨大危害，其中蕴藏的资源也难以得到循环利用，各国通行做法是在无害化、减量化处置前提下，将其变废为宝。

“发展非粮生物基材料既能减少开采消耗石油、煤炭等化石能源，还能降低二氧化碳排放。”李文军解释，生产1公斤以非粮生物基为原料的尼龙-56的碳排放量，相比生产1公

斤尼龙-66 减少了 4.31 千克。当非粮生物基材料废弃时，大部分可经由燃烧或堆肥等生物降解法，转变为水和二氧化碳无毒小分子，重新进入自然循环中，维护整个生态平衡，无需担心碳排放的增加。

但与基于粮食规模化生产生物基材料路线相比，非粮生物基材料要以大宗农作物秸秆及剩余物为原料，在原料预处理、糖化和发酵转化效率、综合成本控制等方面难度更大。工业菌种（群）与酶蛋白功能元件制备、非粮生物质标准化采收保存、非粮生物质高效糖化等关键平台技术正处于攻关爬坡阶段，与现有工艺技术进行耦合衔接亟待突破。

“鉴于此，《行动方案》以非粮生物质开发利用技术突破为基础，深化生物化工与传统化工耦合、工业与农业融合，以技术、模式创新为动力，促进生物基材料优性能、降成本、增品种、扩应用，提升生物基材料产业协同创新、规模生产、市场渗透能力，推动非粮生物基材料产业加快创新发展。”翁云宣说。

发挥产业集群规模效益

企业是科技创新的主体，产业集群是推动生物基材料产业转型升级、引领区域经济发展的重要载体。我国大部分生产生物基材料的企业规模都不大，需培育更多骨干企业，打造特色更加鲜明的产业集群和示范基地。《行动方案》明确了目标：力争到 2025 年，形成 5 家左右具有核心竞争力、特色鲜明、发展优势突出的骨干企业，建成 3 个至 5 个生物基材料产业集群。“要加强部门协同和省部联动，鼓励地方政府统筹非粮生物质产业和乡村发展需要，支持产业链上下游企业深度耦合。”翁云宣说。

在《行动方案》的指引下，各地抓紧布局，加速当地生物基材料产业高端化、规模化发展。山西提出，以骨干企业为主体重点建设山西合成生物产业生态园区，积极推动年产 50 万吨生物基戊二胺项目、年产 90 万吨生物基聚酰胺项目和年产 8 万吨生物基长链二元酸项目建设，引进用地约 3000 亩的下游聚酰胺熔体直纺民用丝、工业丝、地毯丝、纺织、印染、服装等配套项目；安徽大力支持在省重大新兴产业基地、省认定化工园区等新材料产业聚集区，建设共性技术研发、中试、试验验证等产业公共服务项目；河南将在全省布局“秸秆—呋喃甲醛”生产基地，支持骨干企业横向扩规模、纵向延链条，加快推进 2 万吨生物基四氢呋喃、1 万吨生物基甲醇、30 万吨 PBS 等重点项目建设。

“应充分发挥大宗农作物生产区生物质原料丰富优势，打造分布式非粮生物质糖化生产基地，鼓励符合条件的地区形成产业集群，支持符合条件的产业集聚区建设国家新型工业化产业示范基地，提高产业规模效益与影响力。”李文军说。

目标的实现还需要完备的产业体系作支撑。在翁云宣看来，我国生物基材料领域的产业服务平台较为分散，知识产权保护、材料测试评价、材料数据库建设等服务能力，还未形成对产业链及下游应用的有力支撑。为此，《行动方案》建议，加强产业服务平台建设，完善微生物菌种选育技术、生物基材料技术研发、成果转化运用、知识产权保护等体系，依托国家塑料制品质量检验检测中心、先进高分子材料测试中心等提升测试评价服务能力。

此外，生物基材料普遍沿用石油基材料标准体系，缺乏能源消耗限额、碳排放核算等标准体系和标识标签及溯源体系，未能充分体现生物基材料的生态环境友好性。“应建立健全适合我国产业特点的生物基材料产品质量、能源消耗限额、碳排放核算等标准体系及相关污染物排放标准，构建生物基材料及制品评价方法、产品标准、技术标准、标识标签等标识和溯源体系，支持第三方机构开展产品认证、标识和溯源服务。”翁云宣说。（李芃达）

国产催化剂出手，让甲醇合成更经济高效

科技日报 2023.2.2

1月30日，走进西南化工研究设计院有限公司（以下简称西南院）展厅，只见黑色、灰色、褐色等不同颜色的催化剂整整齐齐地摆放在展示柜内，工作人员正在向来访人员介绍着各类催化剂的作用：“这是烃类蒸汽转化催化剂，这是甲烷化催化剂……这个黑色的圆柱体就是XNC-98-5型甲醇合成催化剂。”

近日，国家能源集团180万吨/年煤制甲醇装置采用了西南院自主研发的XNC-98-5型甲醇合成催化剂，在将装置负荷提升到额定负荷的108%情况下，MTO级甲醇（指符合进甲醇制烯烃装置的原料甲醇）产量达到259吨/时，且各项工艺指标全部满足工艺要求。相同负荷下，XNC-98-5型甲醇合成催化剂单程转化率优于国外催化剂，标志着我国大型煤制甲醇装置合成催化剂国产化取得重大突破。

国产甲醇合成催化剂“挤”进市场

甲醇作为重要的基础化工原料，在传统化工领域应用广泛，是甲醛、二甲醚、醋酸等一系列化工产品的原料。同时，也在塑料、合成纤维、合成橡胶、胶粘剂、染料、涂料、香料、医药和农药等领域具有重要作用。

甲醇装置的大型化可大幅降低单位投资、能耗和生产成本，因此百万吨规模以上的大型甲醇装置产能在全国总产能中的占比已达50%。

西南院相关负责人表示，近年来，国内建设了大量煤制烯烃装置，其配套的百万吨以上规模的大型甲醇装置多由国外公司提供甲醇合成工艺包。

“甲醇合成催化剂使用性能的好坏，对大型煤制烯烃装置的经济运行效益影响显著。此前，国外公司对大型煤制甲醇装置甲醇合成催化剂形成市场垄断，国产甲醇合成催化剂进入该市场困难巨大。”该负责人说。

面对上述情况，西南院多年来一直致力于研发新型甲醇合成工艺和催化剂，早在20世纪70年代已立项相关研究，这让西南院成为较早开展低压合成甲醇工艺及催化剂研究的科研院所。截至目前，西南院已成功制备C302、CNJ206、XNC-98等系列中低压合成甲醇催化剂，并成功应用于国内大中小型甲醇合成装置130多套。

多项创新助力国产催化剂自主可控

“相较于国内外其他款型的甲醇合成催化剂，我们最新研发的催化剂转化率更高、热稳

定性更好、选择性更高、使用寿命更长，使用时温度、压力、空速范围也更宽。”西南院催化剂研发团队技术人员表示，该团队采用先进的催化剂制备技术，确保了活性组分的高度分散和协同，极大提升了催化剂的综合性能。

该院相关负责人说，其研发团队严格控制催化剂中铁、镍及钠等杂质含量，实现了更低的乙醇等杂醇含量以及石蜡等副产物的生成，降低了甲醇能耗及生产成本，且催化剂还具有较好的物化性能和催化性能，进一步提升了催化剂的使用寿命，确保催化剂可以在更高的反应温度、压力以及反应空速下长周期高效运行。

“此次西南院 XNC-98-5 型甲醇合成催化剂在国家能源集团 180 万吨/年规模大型甲醇合成装置成功投用，迈出了大型煤制甲醇装置甲醇合成催化剂国产化征程的关键一步。”西南院相关负责人说，下一步该院将继续锚定国家“双碳”目标，攻关甲醇合成工艺和催化剂制备等技术，有序推动现代煤化工产业发展，争取为保障国家能源安全作出更多贡献。（刘泽治 陈科）

AI 首次成功从零生成原始蛋白质

中国科学报 2023.2.6

本报讯 科学家创建了一个能够从头开始生成人造酶的人工智能（AI）系统。在实验室测试中，尽管人工生成的氨基酸序列与任何已知的天然蛋白质存在显著差异，但其中一些酶与自然界中发现的酶一样有效。相关研究成果 1 月 26 日发表于《自然-生物技术》。

该实验表明，虽然自然语言处理是为读写语言文本开发的，但至少可以学习一些生物学的基本原理。Salesforce Research 公司开发了名为 ProGen 的 AI 程序，使用下一代标记预测将氨基酸序列组装成人造蛋白质。

科学家表示，这项新技术可能比获得诺贝尔奖的蛋白质设计技术——定向进化更为强大，它将加速新蛋白质的开发，为已有 50 年历史的蛋白质工程领域注入活力。这些新蛋白质几乎可以用于从疾病治疗到降解塑料的任何领域。

“人工设计的性能比受进化过程启发的设计表现得更好。”该研究作者之一、美国加州大学旧金山分校药学院生物工程和治理科学教授 James Fraser 表示，语言模型正在学习进化的各个方面，但它不同于正常的进化过程。“我们现在能够针对特定效果调整这些属性的生成，例如非常耐热或喜欢酸性环境，不会与其他蛋白质相互作用的酶。”

为了创建这个模型，科学家只需将 2.8 亿种不同蛋白质的氨基酸序列输入机器学习模型，并让它在几周内消化信息。然后，他们使用来自 5 个溶菌酶家族的 56000 个序列，以及相关这些蛋白质的上下文信息对模型进行微调。

该模型迅速生成了 100 万个序列。研究团队根据它们与天然蛋白质序列的相似程度，以及 AI 蛋白质的潜在氨基酸“语法”和“语义”的自然程度，选择了 100 个序列进行测试。

在第一批由 Tierra 生物科学公司体外筛选的 100 种蛋白质中，该团队制作了 5 种人工蛋

白质用于细胞测试，并将其活性与鸡蛋清中发现的一种酶（鸡蛋清溶菌酶，HEWL）进行了比较。在人类的眼泪、唾液和牛奶中也发现了类似的溶菌酶，它们可以抵御细菌和真菌。

其中两种人工酶能够分解细菌的细胞壁，其活性与 HEWL 相当。但它们的序列只有约 18% 相同，这两个序列与任何已知蛋白质的相似性分别为 90% 和 70%。

天然蛋白质中的一个突变就能使其停止工作。但在另一轮筛选中，研究小组发现，即使只有 31.4% 的序列与任何已知的天然蛋白质相似，AI 生成的酶仍显示出活性。

AI 甚至能够通过研究原始序列数据了解酶如何形成。X 射线晶体学测量显示，人造蛋白质的原子结构看起来和它们应该有的样子一样，尽管这些序列是前所未有的。

2020 年，Salesforce Research 基于研究人员最初开发用于生成英语文本的一种自然语言编程开发了 ProGen。他们从之前的工作了解到，人工智能系统可以自学语法和单词的含义，以及其他使写作井井有条的基本规则。

“当你用大量数据训练基于序列的模型时，它们在学习结构和规则方面确实非常强大，能够了解哪些词可以同时出现，以及组合性。”该研究通讯作者之一、Salesforce Research 人工智能研究主管 Nikhil Naik 说。

对于蛋白质，设计选择几乎是无限的。溶菌酶和蛋白质一样小，最多约有 300 个氨基酸。但是有 20 种可能的氨基酸，这样就有 20300 种可能的组合。鉴于无限的可能性，该模型能够如此轻松地产生酶是非常了不起的。

该研究第一作者、Profluent Bio 创始人 Ali Madani 说：“从头开始生成功能性蛋白质的能力表明，我们正在进入蛋白质设计的新时代。对于蛋白质工程师来说，这是可用的多功能新工具，我们期待看到它的治疗应用。”（辛雨）

全天然仿木气凝胶隔热耐火性能优越

科技日报 2023.2.16

科技日报讯（记者吴长锋）近日，科技日报记者从中国科学技术大学获悉，该校俞书宏院士团队以天然生物质和天然矿物为原料，制备了一种具有优良隔热和耐火性能的纯天然仿木气凝胶，相关研究成果日前发表于《德国应用化学》。

木材作为一种用途广泛的材料和丰富的资源，已被广泛使用了数千年。

近年来，各种具有独特物理性能和应用广泛的仿木材料也被开发出来。基于塑料和树脂的仿木气凝胶生物降解性差，会导致废物的积累并带来严重的环境问题。而基于现有的纳米结构基元的仿木气凝胶则存在可持续性不足、成本高等问题。因此，为解决目前材料的不可持续性问题，开发低成本、低能耗、环保的新型结构基元将对仿木气凝胶的发展起到至关重要的作用。

该团队巧妙地通过表面化学调控方法，成功实现了在温和条件下活化微米尺度的木屑颗粒表面，从而暴露出纤维素纳米纤维。这些颗粒表面的纳米纤维显著增强了颗粒之间的相互

作用。结合单向冷冻技术，该团队成功构建了强韧耐用的仿木气凝胶。这种气凝胶有着与天然木材类似的取向通道结构，其仿木结构可以大大降低气凝胶的热导率，具有 17.4 毫瓦每米开尔文的超低径向热导率，优于现有纤维素基气凝胶材料和各类商用海绵。同时，加入天然黏土纳米片使得这种气凝胶的耐火性能也有了很大的改善，可以承受 1300℃ 高温的火焰，并且至少在 20 分钟内不被烧透。

该团队研究人员认为，这种全天然仿木气凝胶的隔热和防火性能均优于天然巴沙木和大多数商业海绵，有望成为现有商业隔热材料的理想替代品。此外，其天然的原料来源和低能耗低排放的制备工艺使得这种气凝胶具有良好的生物降解性和可持续性，从而可以减少隔热材料在生产、使用和废弃过程中对环境的负面影响。

“吞入”甲烷“吐出”电子

发电细菌生成超稳定蛋白质“纳米线”

科技日报 2023.2.9

科技日报讯（实习记者张佳欣）据最新一期《自然·微生物学》杂志，美国耶鲁大学团队发现，地杆菌制造的蛋白质具有线状特性，与“吃”甲烷的微生物相似，而地杆菌可发电，这意味着其有望“吞下”废气并“呼出”电子。该发现为人类应对气候变化提供了新线索。

气候变化加速对地球上的生命构成威胁。气温升高的很大一部分原因是由于微生物产生了大气甲烷，甲烷捕获热量的能力是二氧化碳的 30 倍。此外，温度升高加速了微生物生长，因此产生的温室气体超过了植物所能利用的气体总量，这削弱了地球碳汇的功能，并进一步提高了全球气温。

现在，能够从海洋沉积物中摄取高达 80% 甲烷的地杆菌可能是这种恶性循环的一个潜在解决方案。

地杆菌产生的蛋白质“纳米线”由细胞色素 OmcZ 组成，其导电性是细胞色素 OmcS 纳米线的 1000 倍，刚度是后者的 3 倍，使细菌能在百倍于其群落大小的范围传输电子。但此前人们不知道地杆菌是如何制造这种“纳米线”的，以及它们为何会如此发电。

之前的实验表明，这种蛋白质线显示出迄今最高的导电性，使细菌能产生迄今最高的电力，并形成能够大范围传输电子的群落。

此次，使用高分辨率冷冻电子显微镜，研究人员观察到“纳米线”的原子结构，发现血红素紧密排列，以极快的速度和超高的稳定性移动电子。该团队还合成了“纳米线”，解释了细菌如何按需制造它们。

研究人员表示，人们有可能利用这些“纳米线”来发电，或者了解“吃”甲烷的微生物如何利用该特性来应对气候变化。

生物技术或改变你的未来食物清单

科技日报 2023.2.9

2022 年世界人口已达 80 亿，2080 年将达到 104 亿左右，人口增速远远超过食物产量的增加速度。因此，在有限的空间生产出更多的食物便成了科学家们不懈探索的重要课题。通过生物技术，人类可以向植物要热量、向江河湖海要食物、向微生物要蛋白。

微藻类在解决世界饥饿和营养不良问题上具有巨大潜力。全球有超过 72500 种藻类生活在淡水和海水中，较大的称为大型藻类，它们占有物种的 20%，剩下的 80% 由微藻组成。微藻富含蛋白质、抗氧化剂、植物性维生素和 omega-3 脂肪酸等矿物质，与其他作物相比，藻类种植消耗的土壤少，且培养所需的水量也可以减少 90%。根据相关研究，微藻的蛋白质产量每年每公顷可达 4—15 吨，远高于小麦、豆类每年每公顷 0.6—1.2 吨的蛋白质产量。目前，英国的藻类公司开发的一种创新技术，可降低微藻的叶绿素含量，减少其“草味”，同时保留天然营养。未来，人们有望生产出更有营养、味道更好的纯素微藻类食品。

在未来，除了微藻类等自然生长的动植物类食物，“人造肉”也将为人们提供食物来源。这里说的“人造肉”是利用动物干细胞、糖、氨基酸、油脂和多种营养物质在实验室人工培育出来的动物肉。2019 年 8 月 27 日，肯德基和人造肉公司 Beyond Meat 合作，推出了第一款人造鸡肉产品。相信在不久的将来，“人造肉”除了和自然肉一样美味之外，在营养、生产效率、环境友好等方面也将优于自然肉，从而为解决人口增长和肉类短缺带来的生产压力、环境和动物保护等问题提供了新途径。（张伟）

自行找角度 自己钻泥土

仿生种子“船舱”设计成功

科技日报 2023.2.17

科技日报北京 2 月 16 日电（记者张梦然）《自然》杂志 16 日发表一项中美科学家合作的农业研究，描述了一个受牦牛儿苗种子自钻孔行为启发的可生物降解种子“船舱”，实际上是一个种子载体，使种植成功率比牦牛儿苗种子还要高。这项技术或能提高飞机播种的效果，帮助应对土地退化地区的农业和环境压力。

对于面积大且难以到达的地区来说，飞机播种是一项关键的播种技术，能加速火灾后的重新造林或荒地恢复。不过，当种子落在地表时，容易受到天气破坏或是被野生动物吞食，导致发芽率很低。不同牧草种的种子有自埋能力，这种能力可以给不同类型的种子带来优势。

由美国卡内基梅隆大学、埃森哲实验室、中国浙江大学等机构科学家组成的团队，此次设计了一种模拟牦牛儿苗种子的木基可生物降解种子载体。牦牛儿苗属的种子能打开卷曲的尾巴，以类似钻头的方式把种子埋到地下。研究团队设计的种子载体有 3 个卷曲的尾巴，能

在加湿后打开，搬运的最大种子和白皮松树种子一般大，约有 11 毫米长，72 毫克重。增加能打开的尾巴数量，还可以确保钻头部分与地表形成一个更适合挖掘的角度。

实验表明，该种子载体在平地（难度最大的地形）上的播种成功率为 80%，降低了被风吹走或被动物吞食的风险。在相同的地形条件下，天然牦牛儿苗种子的播种成功率为 0%。

研究团队总结道，该载体或许还能用于播撒肥料或有利于农业和保育应用的其他物质（如传感器）。

P450 酶实现不饱和烃直接硝化

科技日报 2023.2.9

科技日报讯（实习记者宋迎迎 通讯员王曦翎 丛志奇）2月6日，科技日报记者从中国科学院青岛生物能源与过程研究所（以下简称青岛能源所）获悉，该所单碳酶催化研究组首次开发出工程化 P450 硝化酶，成功实现了不饱和烃的直接硝化，进而通过晶体学研究和自由基捕获与控制实验，揭示了直接硝化反应机理。相关研究成果近日在线发表于国际期刊《德国应用化学》。

硝基化合物作为一种高附加值的化工中间体，在医药、农药、炸药等领域均有广泛应用。目前工业硝化具有产物选择性差、环境污染严重以及反应条件苛刻等多种缺陷。而自然界已知的硝化酶仅有 N-加氧酶、过氧化物酶和细胞色素 P450 酶，且普遍存在催化效率低、底物谱窄和产物区域选择性差等不足，远远不能满足工业应用的需求。因此开发新型生物硝化酶具有重要意义。

近年来，青岛能源所单碳酶催化研究组在国际上首次提出双功能小分子（DFSM）协同 P450 酶催化概念，成功构建了人工 P450 过加氧酶催化体系，实现了气态烷烃分子的选择羟化、苯乙烯的高度 R-对映选择性环氧化、碳-氢键区域和立体多样性选择羟化。此外，该研究组利用酶化学机制指导的蛋白质工程策略，成功开发出双功能分子协同 P450 催化的过氧化物酶新功能。

研究人员在上述工作基础上，运用酶工程技术，通过在氧化反应中起关键作用的氨基酸位点引入空间位阻效应，阻止底物靠近活性中心发生过加氧反应，强化其过氧化物酶功能，首次开发出工程化 P450 硝化酶，成功实现了不饱和烃的直接硝化。通过叠加底物口袋关键位点突变，使底物谱范围覆盖 19 个芳香化合物和 9 个末端芳基烯烃化合物，获得了迄今为止催化效率最高、底物范围最广的人工 P450 硝化酶。

科学家提出光催化生物质制氢新策略

中国科学报 2023.2.10

本报讯（见习记者孙丹宁）近日，中国科学院大连化学物理研究所研究员王峰、副研究员罗能超团队与意大利的里雅斯特大学教授 Paolo Fornasiero 团队合作，在光催化生物质制

氢方面取得新进展。团队提出一种“C - C 键优先”策略，利用钽（Ta）掺杂的二氧化铈（CeO₂）将生物多元醇和糖的 C - C 键完全断裂转化到甲酸、甲醛等 C₁ 液态氢载体（LHCs）。这类液态氢载体通过光或热催化释放氢气，显著提高了光催化生物质制氢效率。相关成果发表于《焦耳》。

氢气是一种重要的清洁能源。太阳能光催化生物质重整制氢可以在温和条件下制备可再生氢气。然而，太阳能在时间、地域上分布不均匀，限制了光催化生物质制氢过程的持续平稳运行。另外，由于生物质分子结构复杂、化学键能较高，导致转化过程中化学键尤其是 C - C 键断裂不彻底、副反应多，降低了生物质利用率，从而使产氢收率较低。因此，一种完全断裂生物质 C - C 键的方法对于提高光催化生物质制氢效率尤为重要。

研究团队通过 Ta 掺杂制备了一种可见光响应的 Ta - CeO₂ 光催化剂，在光和热的协同作用下完全催化断裂生物质的 C - C 键，将多种生物多元醇和糖催化氧化到甲酸、甲醛，收率在 62% 到 86% 之间。在光催化氧化过程中，研究团队通过加热来抑制 Ta - CeO₂ 上不利的自由基偶联副反应，由此产生的甲酸和甲醛可作为一种优异的 C₁ LHCs。它相较于氢气更安全、稳定、方便运输，通过光催化、热催化等方式可完全转化释放氢气。研究发现，光催化葡萄糖氧化得到的 C₁ LHCs 经过简单过滤除去 Ta - CeO₂，可以直接用于光催化产氢，得到 33% 的氢气，是直接光催化葡萄糖产氢收率的 2.5 倍。

最后，研究团队通过搭建实验室规模的流动装置验证了太阳能光催化葡萄糖制备 C₁ LHCs 的可行性。利用聚太阳光提供光能和热能，Ta - CeO₂ 催化葡萄糖转化生成甲酸和甲醛的速率分别为 2.2 和 0.3 mmol h⁻¹。经过累计 15.5 小时的太阳光照，C₁ LHCs 的收率达到 15%。

该工作通过强调生物质 C - C 键优先断裂的重要性，为氢气制备和储存打开了大门。

全球甲烷排放有了“超级监视器”

中国科学报 2023.2.14

本报讯 甲烷是一种隐秘的温室气体，会不可预测地在管道和气田等处爆发。科学家一直在想办法“捕捉”这些气体排放的行为。

过去，调查人员必须从地面或飞机上监测可能的排放点。现在，他们可以从太空和世界任何地方自动监测到大规模、短暂的甲烷泄漏。

据《科学》报道，这项新技术使用人工智能检查了欧洲卫星每天收集的 1200 万个观测数据，有助于未来在国际甲烷排放观测站等地收集的数据中发现羽流。

领导这项工作的是荷兰空间研究所的科学家。仅上个月，他们就监测到 192 股甲烷羽流，其中一些是持续性的，一些是间歇性的，排放速度均超过 10 吨/小时，在除南极洲之外的每一个大陆都有发现。

荷兰空间研究所的自动甲烷探测器依赖于哨兵 - 5P 卫星上的对流层监测仪器（TROPO-

MI)。该研究所大气科学家、新研究合作者 Ilse Aben 表示，卫星频繁的、全球化的覆盖能对任何大规模的甲烷释放发出警报。但问题是数据量太大，很难发现这些羽流。

为此，研究人员开始向人工智能寻求帮助。荷兰空间研究所博士生 Berend Schuit 研究了多年的 TROPOMI 数据，确定了约 800 个已知的羽流场景和 2000 个没有羽流的场景。有了这些场景，研究人员便可训练人工智能算法识别羽流。

之后，研究人员通过训练第二个人工智能，发现其中可能属于人为因素造成的误报，从而产生可靠的结果。他们进一步测试算法，发现了 2974 股独特的甲烷羽流，超过 40% 与石油和天然气开发有关，另外 33% 与垃圾填埋场有关、20% 与煤矿有关。

由于 TROPOMI 的分辨率不够精确，因此无法确定每股羽流的精确位置。但未来的卫星数据应该会使画面更加清晰。

美国亚利桑那大学遥感科学家 Riley Duren 表示，过去，研究人员必须瞄准已知有甲烷排放的地点，才能找到新的甲烷排放点。而这项新技术“有助于为未来范围不断扩大的全球甲烷卫星生态系统的运行监测奠定基础”。(王方)

巧用生物电催化，将二氧化碳高效合成氨基酸

科技日报 2023.2.23

生物电催化技术在生物电化学传感、生物能量转换等方面潜力巨大。特别是在高值化学品合成方面，可以通过简单的电极代替辅酶再生共底物，成功实现一些材料和医药化学品的高效合成。

二氧化碳的高效生物转化对推进绿色低碳发展，实现我国“双碳”目标具有重要意义，也是目前国内外关注的重大科技前沿之一。

2月20日，科技日报记者从中国科学院天津工业生物技术研究所获悉，该所体外合成生物学中心联合中国科学院微生物研究所和山东大学研究团队，在还原甘氨酸途径的启发下，构建了电能驱动的体外多酶催化系统，克服了热力学障碍，首次实现了一锅法生物电催化二氧化碳加氢合成甘氨酸。相关研究成果近日以封面文章的形式发表在国际期刊《德国应用化学》上。

生物电催化二氧化碳转化需解决两个问题

由于二氧化碳是一种化学惰性分子，其转化利用需要能量的注入。而生物催化系统虽然具有高选择性，但往往反应条件温和、能量利用方式有限，这导致其转化二氧化碳的速率和效率难以与化学催化系统相比。

近年来，随着绿色发电技术的发展，以清洁电能驱动生物催化的生物电催化技术越来越受到关注。结合了生物催化的高选择性和电催化高效清洁的优点，生物电催化技术在生物电化学传感、生物能量转换等方面潜力巨大。特别是在高值化学品合成方面，可以通过简单的电极代替辅酶再生共底物，成功实现一些材料和医药化学品的高效合成。

“利用化学电催化可将二氧化碳和氨合成氨基酸，但化学催化剂在转化二氧化碳方面选择性欠佳，难以高效合成多碳和含氮分子。而生物催化剂具有高选择性，再通过电能驱动为反应赋能，则有望实现二氧化碳到复杂分子的转化。”文章第一作者之一，天津工业生物技术研究所副研究员吴冉冉介绍。

但是生物电催化二氧化碳转化必须解决生物固碳元件性能不高以及电能难以高效再生还原力以驱动生物反应这两个问题。目前，生物电催化技术仅能实现二氧化碳转化为甲酸、甲醇等一碳产物，由于速度慢、得率低，还无法直接进一步一锅合成氨基酸或多碳分子。

构建电能驱动的体外多酶催化系统

甘氨酸是自然界中分子结构最简单的氨基酸。在还原甘氨酸途径的启发下，联合团队成功构建了电能驱动的多酶催化二氧化碳加氨合成甘氨酸的系统。他们首先对二氧化碳还原到甲酸、基于四氢叶酸的甲酸转化、基于甘氨酸裂解系统的甘氨酸合成以及辅酶再生四个模块分别进行了构建和验证。特别是联合团队前期开发的基于铜电极和甲酸脱氢酶的高效辅酶再生模块，解决了辅酶易失活的问题，大幅提升了甲酸浓度，以便推动其后续生物转化。

“联合团队通过挖掘双功能酶、优化反应条件、提高多酶间和酶与辅酶间的相互适配性等，进一步解决了辅酶需求不匹配、固碳与氮素利用难以协同等问题。特别是针对限速环节——基于四氢叶酸的甲酸转化，我们做了一系列改进和强化，最终将甘氨酸产量提升至 0.81 毫摩尔，最高合成速度达 8.69 毫克每升每小时，最大法拉第效率达 96.8%。”文章通讯作者，天津工业生物技术研究所研究员朱之光说。

此外，同位素标记结果可证实甘氨酸中的碳原子和氮原子均来自于二氧化碳和氨。经估算，该系统的最大理论能量效率可达 50.3%（考虑电驱动辅酶再生反应过电势）到 83.6%（不考虑过电势），这充分显示了生物电催化在能量效率上的优势。

对于产量和反应速度上的进一步提高，未来我们可重点针对四氢叶酸相关模块进行改造或者构建新的生物电催化二氧化碳转化人工途径。

该研究展示了一条利用生物电催化系统将二氧化碳加氨合成甘氨酸的新路线，也为以二氧化碳为原料合成更多含氮高值化学品提供了新思路，是二氧化碳到淀粉、蛋白、油脂等重大产品的人工合成路线的重要补充。

中科院青岛生物能源与过程研究所

解析微藻生物膜贴壁培养机制

中国科学报 2023.2.15

本报讯（记者廖洋）近日，中科院青岛生物能源与过程研究所研究员刘天中研究组在《化工学报》发表论文，系统解析了不同培养条件与二氧化碳补碳模式下微藻生物膜内的光和溶解碳的传递过程，揭示了生物膜内光碳分布特征、表面形貌形成和生物膜增长机制。

生物膜贴壁培养具有高光效、高产率、易采收和高效节水等优势，是突破微藻生产效率

和成本瓶颈的变革性培养技术之一。不同于传统的微藻开放池和光反应器悬浮培养，人们对微藻生物膜的光碳传输和生长机制一直不清楚。

微藻悬浮培养下，藻细胞可以借助液体循环流动实现营养物质的混合及在明暗区穿梭，但微藻细胞在生物膜内的位置固定，光只能通过细胞透射和胞间折射传输，碳则主要通过胞间渗流扩散传输。研究发现，微藻生物膜有很强的光传输阻力，光最大穿透深度只有 30 ~ 70 微米，因此，透光深度是制约微藻生物膜生长的最主要因素。由于培养基渗流作用，碳的传递阻力不大，碳分布较为充分。微藻生物膜可分为“光合生长区”和“休眠区”，光合作用只发生在生物膜上部 40 ~ 70 微米厚的“光合生长区”内，细胞不断分裂 - 插入 - 成熟长大 - 再分裂，整个过程不断抬升“光合生长区”并使生物膜增厚。生物膜厚度增大最终会导致膜表面附近碳浓度降低而限制其继续生长。

研究提出了提高光强、增加培养基碳浓度、及时采收，以及双向补碳的微藻生物膜培养强化策略。这项研究为利用微藻生物膜贴壁培养技术实现高效固碳与生物质高效生产提供了重要工艺理论与技术支撑。

中科院亚热带农业生态研究所

强化铁矿物上碳“束缚”使稻田土壤更肥沃

中国科学报 2023.2.16

本报讯（记者王昊昊）近日，中科院亚热带农业生态研究所研究员吴金水团队发现，铁矿物通过降低其结合的碳被矿化并诱导负激发效应（抑制土壤有机碳矿化），促进稻田土壤有机碳积累，且碳积累增强效应取决于铁矿物的结晶度和碳负载量。相关研究成果发表于《土壤生物学与生物化学》。

南方稻田土壤富含铁矿物，大量研究强调了碳铁耦合对土壤有机碳长期储存和稳定的重要性，但由于碳铁复合物难以从土壤中分离，人们对土壤有机碳保护机制的认识尚未深入。

研究者以 2 线水铁矿和 6 线水铁矿（分别代表无定型和晶型铁矿物）及 ^{13}C -葡萄糖为原料制备了 4 种碳铁复合物（2 线水铁矿结合态高量、低量葡萄糖和 6 线水铁矿结合态高量、低量葡萄糖），并以高量、低量纯葡萄糖为对照，采用室内培养试验，在 60 天培养期内观测了稻田土壤碳铁复合物的矿化过程及对土壤原有有机碳矿化的激发效应。

结果表明，2 线水铁矿结合态葡萄糖的累积矿化率比 6 线水铁矿结合态葡萄糖高约 21%。仅葡萄糖添加刺激了土壤原有有机碳矿化，导致约 0.27% 的土壤有机损失，但碳铁复合物输入抑制了土壤原有有机碳矿化（约为 0.33% 至 0.55%），促进土壤有机积累。

研究明确，促进无定型铁矿物向晶型铁矿物转化可增强富铁水稻土有机碳积累。该研究结果有助于深入了解碳铁复合物促进南方红黄壤性水稻土有机碳积累的过程机制，并对该区域土壤肥力提升及田间综合管理等方面具有重要指导意义。

实现高温聚合物电解质膜燃料电池新设计

中国科学报 2023.2.16

本报讯（见习记者孙丹宁）近日，中科院大连化学物理研究所研究员王素力和研究员孙公权团队在高温聚合物电解质膜燃料电池（HT-PEMFC）低界面传质阻力多孔电极设计构建研究方面取得新进展。团队基于多孔电极表面能调控，实现了非连续磷酸液-固界面层的可控构建，并阐释了该界面结构在工况下的演化机制与规律。相关研究成果发表于《科学进展》。

高纯度氢气在制取、存储、运输及加注方面存在技术瓶颈。在 HT-PEMFC 中，由于运行温度升高，电极对毒化组分耐受能力大幅提升。如果 HT-PEMFC 技术实现醇类、汽柴油等液态燃料重整制氢产物的直接利用，有望从根本上解决燃料储运问题。但与发展较为成熟的低温聚合物电解质膜燃料电池相比，HT-PEMFC 的面积比功率仅为其 1/3 至 1/2，严重制约了工程应用与商业化进程。

针对上述挑战，团队基于近年来在 HT-PEMFC 磷酸界面构建与演化机制方面的研究成果，提出了通过多孔电极表面能调控的方法，建立了磷酸非均匀聚集与浸润的全新界面结构，并结合静电纺丝与电化学刻蚀手段，在微纳尺度实现了纤维多孔电极的超硫酸构建。随后，团队利用原位环境扫描电镜技术，观察到模拟工况条件下磷酸液滴在多孔电极内的聚集分布，在实际多孔电极中实现了“非连续”液态磷酸界面层构建，颠覆了传统多孔电极的磷酸均匀浸润模式。该界面结构大幅降低了液态磷酸对催化活性位点的覆盖厚度，进而显著降低了界面传质阻力。

与传统电极相比，该多孔纤维电极组装的 HT-PEMFC 膜电极峰值功率密度提高了 28%，展现了该类燃料电池的实际应用潜力。

2022 年我国生物质发电新增 334 万千瓦

中国电力报 2023.2.20

近日，国家能源局发布 2022 年可再生能源发展情况，全年可再生能源新增装机 1.52 亿千瓦，其中生物质发电新增 334 万千瓦。近期，中国产业发展促进会生物质能产业分会就 2022 年生物质发电行业运行状况进行了调查统计。

装机情况

2022 年全年

●生活垃圾焚烧发电

▶▷新增装机 257 万千瓦累计装机达到 2386 万千瓦

●生物质发电

▶▷新增装机容量 334 万千瓦累计装机达 4131 万千瓦

●沼气发电

▶▷新增装机 12 万千瓦累计装机达到 122 万千瓦

●农林生物质发电

▶▷新增装机 65 万千瓦累计装机达到 1623 万千瓦

●累计装机容量排名前五的省份

◆广东 422 万千瓦

◆山东 411 万千瓦

◆江苏 297 万千瓦

◆浙江 284 万千瓦

◆黑龙江 259 万千瓦

●发电情况

2022 年

●全国生物质发电量达 1824 亿千瓦时同比增长 11%

●年发电量排名前五的省份

◆广东 217 亿千瓦时

◆山东 185 亿千瓦时

◆浙江 145 亿千瓦时

◆江苏 136 亿千瓦时

◆安徽 124 亿千瓦时

日本推广“藻场”吸收温室气体

参考消息 2023.2.22

【《日本经济新闻》2月21日报道】题：日本港口将修建“藻场”让海洋植物吸收温室气体。

日本全国的港口正在推广“蓝碳”项目，培育海藻等海洋植物来吸收二氧化碳。日本的大企业正与当地相关部门合作，推进“藻场”建设工作。“蓝碳”抑制全球变暖的效果引起全世界关注，日本也将其视为实现脱碳的有力手段。

2022 年秋，日本制铁公司在北海道增毛町、三重县志摩市等六地，与以渔业合作社为首的当地相关人士合作，开始建设“藻场”，并向“藻场”提供钢铁生产副产品钢渣等。钢渣含有有助于海藻生长的成分。

日本制铁公司迄今已在全国约 40 个地点采取同样的措施。在从 2018 年开始的 5 年间，49.5 吨被海藻吸收的二氧化碳被认定为“碳信用”。国土交通省也将这视为“大企业的先进事例”。

引能仕（ENEOS）控股公司也在努力恢复因大分县、山口县海胆灾害而减少的“藻场”。J-POWER、住友商事、商船三井等众多行业巨头都参与了“蓝碳”相关项目。

海带、裙带菜等海洋植物可以通过光合作用，捕捉和吸收溶解在海水中的二氧化碳。有研究表明，到2030年，吸收量将达到森林吸收的二氧化碳量的20%左右。

日本主管港口的国土交通省将与环境省等部门合作推广“蓝碳”项目，力争到2023年底，在日本全部的1000座港口开展“藻场”建设实地调查和二氧化碳吸收效果验证等工作。

国土交通省还将与致力于“蓝碳”事业或对此感兴趣的企业、渔业协会、地方政府、非营利法人等联手，传授先行事例的经验，并研究旨在支持新项目启动的机制。还将修改港口设备的设计标准，以利于同海洋生态系统共生共存。此外，还将普及一些企业推出的“碳信用”认证机制。

蘑菇可取代塑料制造超轻材料

用于研发运动设备和防弹衣等

科技日报 2023.2.27

科技日报讯（记者刘霞）芬兰科学家揭示了木蹄层孔菌拥有非凡的机械性能和超轻“体重”背后的秘密。结果显示，这种蘑菇复杂的结构可被模仿，取代塑料制成超轻的高性能材料，用于研制运动设备和防弹衣等。相关研究刊发于2月22日出版的《科学进展》杂志。

芬兰国家技术研究中心的研究表明，木蹄层孔菌的子实体是一种功能分级的材料，具有三个不同的层。菌丝体网络是所有层中的主要成分，但每一层中菌丝体都表现出非常独特的微观结构，具有独特的方向、纵横比、密度和分枝长度。细胞外基质充当增强黏合剂，在数量、聚合物含量和互连性方面，每一层都有所不同。

研究显示，木蹄层孔菌的结构非常独特，因此它可被修改，以创建拥有不同性能的多种材料，这些材料的性能超过了大多数天然和人造材料。

最新结果首次显示了木蹄层孔菌在整个进化过程中复杂的结构、化学和机械特征，这些特性协同作用，可创造出一种全新的高性能材料。研究结果有望催生下一代坚固、轻质的可持续材料，用于研制抗冲击植入物、运动设备、防弹衣、飞机外壳、电子设备或挡风玻璃表面涂层等。

研究人员称，木蹄层孔菌的结构和生物化学原理为材料工程开辟了新的可能性，例如制造超轻量材料、具有增强机械性能的纳米复合材料，或探索具有高性能的下一代可编程材料的新制造路线。此外，使用简单的成分种植出材料，有助于降低未来制造和消费材料的成本、时间，并更具可持续性。

五、太阳能

新研究发现绿光调控植物发育机制

科技日报 2023.2.9

科技日报讯（记者王春）近日，中国科学院分子植物科学卓越创新中心研究员刘宏涛团队发表了一项研究。该研究揭示了绿光在调控植物发育中的功能，并发现绿光通过调控内源激素油菜素甾醇信号通路从而调控植物发育。相关研究论文近日在线发表于国际学术期刊《植物细胞》。

绿光的能量占可见光能量的一半以上。植物呈现的令人愉悦的绿色是由其对绿光的反射造成的，这可能给人一种印象，即绿光对植物来说无足轻重。研究表明，尽管同红光或蓝光相比，绿叶反射更多的绿光，但绿叶仍吸收约 10%—50% 的绿光。

刘宏涛团队结合滤光片制作出不含红光或蓝光的纯绿光光源，发现绿光促进拟南芥和其他多种植物的下胚轴伸长。进一步的研究发现，植物目前已知的光受体光敏素、隐花素、向光素等都不能作为绿光受体介导绿光促进下胚轴伸长，这暗示了有新的光受体存在并介导绿光信号转导。该研究发现内源激素油菜素甾醇信号通路参与绿光信号转导。BES1 是油菜素甾醇信号转导中的关键转录因子，绿光能促进 BES1 的 DNA 结合活性，从而调控基因转录以促进下胚轴伸长。这些结果表明，绿光作为重要的环境信号促进下胚轴伸长，使植物能够适应遮荫环境。

《中国太阳能热发电行业蓝皮书 2022》发布

国家电网报 2023.2.7

1月31日，《中国太阳能热发电行业蓝皮书 2022》（以下简称：《蓝皮书》）发布会以线上方式举行。

蓝皮书显示，截至 2022 年底，我国太阳能热发电累计装机容量 588MW（58.8 万千瓦），在全球太阳能热发电累计装机容量中占比 8.3%。根据聚光形式的不同，在我国太阳能热发电累计装机容量中，塔式占比约 63.1%，槽式约 25.5%，线菲式约 11.4%。

中国科学院院士何雅玲在致辞中强调，目前光热发电的优势和价值正获得更广泛的认知，特别是对间歇性新能源（风电、光伏等）的消纳能力，对以新能源为主体的新型电力系统安全稳定运行的保障能力。包括太阳能热发电在内的太阳能热利用是构建我国新型能源结构体系的战略支撑，光热发电配置长周期、安全可靠热储能，是未来规模储能的中坚力量，具有广阔的发展前景，将在能源革命中发挥着重要作用。

科技部试点联盟联络组秘书长李新男表示，太阳能热发电的独特储能功能更显示出其广阔的发展前景，而且已经取得了非常好的成绩。太阳能热发电作为一种电网友好的绿色能源，不仅是实现碳中和指标的重要力量，更能为社会发展服务，对我国新能源产业发展有着

极其重要的战略意义。

中国可再生能源学会副理事长、中国有研集团首席专家蒋利军认为，太阳能热发电行业正迎来新的发展机遇。光热电站不仅可以独立发电，通过长周期熔盐储热系统实现不间断运行，同时也可以利用大容量储热系统双向连接电网，将网上的峰值电力转化为热能存储发电，与风光互补，提高间歇性可再生能源消纳比例。

与会专家一致认为，《蓝皮书》相关内容对政府决策、行业发展提供了有力的数据支撑；内容全面丰富、逻辑清晰，具有极大的参考价值。

据了解，《蓝皮书》由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟和中国可再生能源学会太阳能热发电专委会联合编写，由国家光热联盟专家委员会审核，经国家光热联盟专家委员会主任委员何雅玲院士批准发布。

《蓝皮书》共分为9个章节，对太阳能热发电技术的特点和定位、装机容量，我国太阳能热发电示范项目运行、产业链、国家科技研发项目情况，投资成本，全生命周期碳排放以及面临的挑战等进行了梳理，提出了发展建议。

我科学家提出钙钛矿电池新结构方案

科技日报 2023.2.20

科技日报讯（记者吴长锋）记者2月18日从中国科学技术大学获悉，该校徐集贤教授团队与合作者，针对钙钛矿太阳能电池中长期普遍存在的“钝化—传输”矛盾问题，提出了一种命名为PIC（多孔绝缘接触）的新型结构和突破方案，实现了p-i-n反式结构器件稳态认证效率的世界纪录，并在多种基底和钙钛矿组分中展现了普遍的适用性。相关研究成果17日发表在《科学》杂志上。

在钙钛矿太阳能电池中，异质结接触问题带来的非辐射复合损失已被证明是主要的性能限制因素。由于“钝化—传输”矛盾问题的存在，超薄钝化层纳米级别的厚度变化都会引起填充因子和电流密度的降低。

研究团队提炼出的PIC接触结构方案，不依赖传统纳米级钝化层和隧穿传输，而直接使用百纳米级厚度的多孔绝缘层，迫使载流子通过局部开孔区域进行传输，同时降低接触面积。

团队通过PIC生长方式从常规“层+岛”模式向“岛状”模式的转变，成功利用低温低成本的溶液法实现了这种纳米结构的制备，并首次实现了空穴界面复合速度从60厘米/秒下降至10厘米/秒，以及25.5%的单结最高效率。这种性能的大幅改善在多种带隙和组分的钙钛矿中都普遍存在，展现了PIC广泛的应用前景。PIC结构在多种疏水性基底都实现了钙钛矿成膜覆盖率和结晶质量的提高，对于大面积扩大化制备也很有意义。

《科学》杂志审稿人评价：“PIC结构得到了很好的展示，并首次在空中传输界面实现……这种方法将会对未来的局部钝化技术研究产生重要影响。”

中国光伏行业协会名誉理事长王勃华：

今年我国光伏新增装机有望冲击 120 吉瓦

中国能源报 2023.2.20

本报讯 在 2 月 16 日举行的光伏行业 2022 年发展回顾与 2023 年形势展望研讨会上，中国光伏行业协会名誉理事长王勃华表示，2022 年我国光伏产品出口规模第一次超过 500 亿美元，产量、装机继续大幅增长，钙钛矿电池等新技术的研发也全面开花，取得可喜进展。但与此同时，行业仍面临配储成本增加、强制产业配套等诸多问题。预计今年我国光伏新增装机在 95—120 吉瓦，预计全球光伏累计装机量 2024 年就将超过水电，2027 年将超过煤炭。

据王勃华介绍，去年我国光伏行业再创佳绩，光伏制造端四个主要环节多晶硅、硅片、电池片、组件产量同比增长均在 55% 以上，光伏发电新增装机同比增长 59.3%，光伏产品出口总额同比增长 80.3%，光伏制造端产值（不含逆变器）超过 1.4 万亿元，同比增长超过 95%。

具体而言，去年国内多晶硅产量 82.7 万吨，同比增长 63.4%；硅片产量 357 吉瓦，同比增长 57.5%；电池产量 318 吉瓦，同比增长 60.7%；组件产量 288.7 吉瓦，同比增长 58.8%。全国新增装机 87.41 吉瓦，其中分布式新增装机 51.11 吉瓦，同比增长 74%；集中式新增装机 36.3 吉瓦，同比增长 41.8%。

出口方面，2022 年我国光伏产品出口规模第一次超过 500 亿美元。其中，组件出口 423.61 亿美元，硅片出口 50.74 亿美元，电池出口 38.15 亿美元，合计约 512.5 亿美元，同比增长 80.3%。出口到各大洲市场均有不同程度增长，其中，欧洲市场增幅最大，同比增长 114.9%。2022 年，欧洲依然是中国光伏产品最主要的出口市场，约占出口总额的 46%，占比继续提高。

技术创新方面，王勃华表示，去年我国企业和研究机构刷新效率纪录 14 次，其中 10 次为 N 型电池技术。我国钙钛矿电池研发效率也不断取得新的突破，无论是纯钙钛矿电池、无机钙钛矿电池还是钙钛矿晶硅叠层电池、全钙钛矿叠层电池、柔性钙钛矿电池等，都取得可喜进展。

在取得不俗成绩的同时，我国光伏发电产业也存在着一些亟待解决的问题。

王勃华表示，首先，光伏电站配储成本进一步增加。近年来，光伏电站按容量以某一比例配置储能作为辅助消纳与支撑电网的措施，成为电站开发建设的前置条件。在储能商业模式尚不完善的情况下，强制配储给投资商带来巨大负担，且很多省份配储要求有愈演愈烈的趋势。在实际运行中，大部分光伏电站所配置的储能系统被电网调度情况较少，难以获得相关收益，反过来却增加了不少成本。

其次，部分省份工商业电价峰谷时段调整为行业发展带来不确定性。“出发点是为了解

决新能源消纳压力，但把新能源出力最主要的时段划为谷段，使得分布式电站收益率下滑严重。”王勃华说。

再次，强制产业配套现象依然严重。国内光伏用地需求也受到限制。

王勃华表示，国内电力市场交易发生了很大变化，给光伏发电收益带来不确定性。贸易壁垒已给我国光伏企业拓展海外市场带来困难，而海外大力发展本土制造业也有可能对我国光伏制造业造成冲击。

王勃华引用国际能源署的预测认为，到2025年，可再生能源将超过煤炭，成为全球最大的电力来源。2022年到2027年，可再生能源装机将增加2400吉瓦。预计全球光伏累计装机量2024年将超过水电，2026年将超过天然气，2027年将超过煤炭。2022年到2027年，全球光伏新增装机预计达1500吉瓦，其中，分布式光伏年均新增170吉瓦。

“这个预测和5年前的预测相比，提高了80%，和2021年的预测相比，提高了30%，可以说是国际能源署预测史上最大的调整。”王勃华说。

王勃华预计，今年全球的光伏新增装机可能达到280—330吉瓦，我国光伏新增装机有望达到95—120吉瓦。（张亚军）

节省陆地空间 为偏远地区供电

水上浮动的发电农场

科技日报 2023.2.7

世界各地正在建造越来越多的浮动太阳能农场。

浮动太阳能农场是安装在湖泊和水库等水体表面的太阳能电池板，用于节省陆地空间，或为偏远地区提供电力。

据英国广播公司（BBC）报道，现在，工程师和科学家们正开始研究在海洋表面建立太阳能农场的方法，将电力输送到未通电的地方，比如印度尼西亚，拥有1万多个岛屿，为全国供电是一项巨大挑战，在那里，有100多万人居住的地方不通电。

英国克兰菲尔德大学机械工程助理教授黄罗峰（音译）博士表示：“那些用不上电的人住在偏远的岛屿上，在这种情况下很难为他们连接电缆，也很难采用其他昂贵的解决方案，例如风力涡轮机。”

根据国际能源署的数据，太阳能正在成为建造新发电厂的成本最低的选择。

荷兰建造“逐日”浮动发电场

在荷兰西南部的东福恩斯湖上，一个闪闪发光的圆形太阳能电池板“岛屿”浮在水面上，随着阳光摆动。

该装置以古希腊海神的名字命名为Proteus，由一家葡萄牙公司开发，是首批将浮动太阳能电池板与太阳能跟踪技术相结合的装置之一，可最大限度地产生清洁电力。

在阳光明媚的日子里，该岛的发电量约为73千瓦。由于它的两轴太阳能电池板和独特

的太阳能追逐技术，可以产生比陆地上不移动的太阳能电池板多 40% 的能量。

这种设计的其他好处是，水冷却提高了发电量，而且避免了占用宝贵的土地，这是荷兰和日本等人口稠密、国土面积较小的国家的理想选择。

印度和新加坡发展浮动太阳能

在印度，中央邦纳尔马达河上的奥姆卡雷斯赫瓦尔大坝正在建设一座 600 兆瓦的浮动太阳能农场。另一个 1 千兆瓦的浮动太阳能发电项目计划在中央邦的英迪拉·萨加尔大坝进行。印度中央邦已经从可再生能源中产生了 5500 兆瓦的能源，并希望到 2030 年再增加 2 万千瓦。

新加坡腾格水库上的巨型浮动太阳能农场有 45 个足球场那么大，拥有 12.2 万块浮动太阳能电池板。它为新加坡的 5 个水处理厂提供动力，也是该岛到 2025 年将太阳能产量翻两番的目标的一部分。

挪威 Ocean Sun 公司创始人兼首席执行官博尔格·比约恩克里特说：“在新加坡，土地成本非常高，他们已经利用了大部分屋顶表面积。”因此，如果能够利用土地以外的海面，“实际上提供了负担得起的可再生能源的唯一途径”。

美国和德国开发浮动太阳能项目

在美国，目前最大的浮动太阳能项目在加利福尼亚州。据美国电力供应商索诺玛清洁能源公司介绍，希尔兹堡浮动太阳能农场拥有 11600 块太阳能电池板，可产生 4.8 兆瓦的电力。这足以满足希尔斯堡 8% 的电力需求。

德国最大的浮动太阳能农场建在哈尔特恩海镇采石场的一个闲置湖泊上，每年将减少多达 1100 吨的二氧化碳排放。近期，德国和其他欧洲国家正在加大对可再生能源的关注，以帮助减少对俄罗斯石油和天然气的依赖。

浮动太阳能发电技术前景向好

太阳能农场所处的环境至关重要。如果安装在腐蚀性咸水上，它们需要比陆基同类产品更耐用。

这可能会增加生产、安装和维护成本。此外，浮动太阳能农场还需要安装在潮汐较弱、天气较好的地区。

尽管如此，浮动太阳能农场的潜力仍然很大。

在良好的地理位置和正常条件下，占地 1.5 万平方米的 7 个 Proteus 岛每年可以产生高达 2 吉瓦的电力，足以为 150 万户家庭供电。

开发浮动太阳能农场的技术在世界各个角落蓬勃发展。

世界银行一份报告称，浮动太阳能呈指数级增长。截至 2014 年底，全球总装机容量为 10 兆瓦。截至 2018 年 9 月，这一数字增长了 100 多倍，达到 1.1 千兆瓦。

这种增长轨迹似乎将持续下去。报告认为，即使在保守估计下，浮动太阳能的潜在发电量仍为每年 400 千兆瓦。而 1 吉瓦足够为 75 万个美国家庭供电，这意味着这项技术可以为

数亿人提供能源。

世界银行称，尽管“浮动式太阳能面临挑战，但它为全球太阳能产能的扩大提供了重大机遇”。（张佳欣）

新型超表面体系可增强光与物质的手性相互作用

科技日报 2023.2.28

科技日报讯（实习记者孙明源）手性是自然界的基本属性之一。当一个物体无法通过旋转、平移等操作与其镜像体重合时，该物体即具有手性——如我们的双手，左手与互成镜像的右手不重合。从有机大分子到太空中的星系，手性在自然界普遍存在。

手性物质两个对映异构体具有基本相同的物理性质、化学性质和热力学性质，但它们的光学效应并不相同。在光学领域，研究光与物质的手性相互作用具有重要意义。

中国科学技术大学教授陈杨、哈工大深圳校区教授肖淑敏与新加坡国立大学教授仇成伟合作，在微纳光学与手性光学的交叉领域取得重要进展。合作团队在介质超表面中引入微小倾斜扰动，首次实现并观测到具有极致内禀手性的连续域中束缚态，在光学波段同时得到高达 0.93 的圆二色谱信号和高达 2663 的光学品质因子，显著增强了光与物质的手性相互作用。2023 年 1 月，相关成果发表于国际学术刊物《自然》。

陈杨表示，该团队开发的 chiral BIC 超表面体系可以显著增强光与物质的手性相互作用，在手性光学领域有广阔应用前景。在该研究的基础上，手性物质的痕量检测、非对称光催化等技术有望得到提升。

新技术可捕捉材料波动的高清影像

科技日报 2023.2.1

科技日报讯（实习记者张佳欣）德国马克斯·玻恩研究所、亥姆霍兹中心、美国布鲁克海文国家实验室和麻省理工学院研究人员组成的团队，开发出一种革命性的新方法，利用强大的 X 射线源捕获纳米级材料波动的高分辨率图像。这种新技术允许创建清晰、详细的影像，而不会因过度辐射损坏样本。研究结果近日发表在《自然》杂志上。

世界的微观领域是不断运动的，并以不断变化为标志。即使在看似不变的固体材料中，这些波动也可能产生不寻常的性质；高温超导体中电流的无损传输就是一个例子。在相变过程中，波动尤其明显，材料会改变其状态，例如在熔化过程中从固体变成液体。然而，详细研究这些过程是一项艰巨的任务，捕捉到这些波动模式的影像就更具挑战性。

联合研究团队开发出一种新的无损成像方法，称为相干相关成像。为了制作一段影像，他们快速连续地拍摄样本的多个快照，同时降低足够的光照以保持样本的完好无损。尽管这会导致个别图像中样品的波动模式变得不清晰，但这些图像仍包含足够的信息以将它们分成几组。

研究团队首先创建一种新的算法来分析图像之间的相关性。每个组中的快照非常相似，因此可能来自相同的特定波动模式。只有当一组中的所有镜头一起观看时，才会出现样本的清晰图像。科学家们现在能将每一张快照与样本当时状态的清晰图像联系起来。

该团队在由薄磁性层制成的样品上展示了相干相关成像。他们创建了一张地图，显示了被称为磁畴的区域之间边界的首选位置。这张地图和运动的影像使人们更好地理解材料中的磁性相互作用，促进了未来在先进计算机体系结构中的应用。

钙钛矿光伏技术发展现状与建议

中国电力报 2023.2.10

钙钛矿太阳能电池作为新兴的第三代光伏技术自 2009 年面世以来，短短十几年内光电转换效率从 3.8% 提升到了 25.7%

面临挑战

- 在水汽、高温、紫外线照射等外界条件刺激下，钙钛矿电池易发生降解，性能严重衰减

- 大面积钙钛矿组件的效率和质量偏低

- 设备的部分关键部件仍依赖进口

相关建议

- 充分发挥国家能源和科技主管部门规范和引导作用，制定技术指标，出台激励政策

- 引入各专业领域的先进技术，以提升钙钛矿光伏产业化的效率和效果

- 通过大量实证试验和示范应用，摸清其实际服役性能和安全性，从而准确评估其应用风险

- 构建钙钛矿光伏技术标准体系，积极争取掌握国际标准话语权

钙钛矿太阳能电池作为新兴的第三代光伏技术，自 2009 年面世以来，短短十几年内光电转换效率从 3.8% 提升到了 25.7%。为促使我国在钙钛矿光伏产业化初期建立先发优势，需协调“政产学研用”多端发力，引入多种先进技术提升钙钛矿光伏量产水平，加快开展实证和示范应用，及时构建钙钛矿光伏标准体系，确保钙钛矿光伏技术产业化进程全面自主可持续。

钙钛矿光伏技术发展现状

钙钛矿太阳能电池以钙钛矿结构卤化物作为光吸收层材料，具有带隙可调、吸光系数高、温度系数低、轻薄柔性等特点，是当前最具大规模推广应用前景的一类新型太阳能电池。经过十余年研究，钙钛矿光伏的基本原理、材料配方、性能优化路径等方面已逐步成型。同时，晶硅光伏电池和组件的量产工艺及生产线设备的全面国产化为钙钛矿光伏技术产业化提供了先导性的借鉴。

(一) 钙钛矿太阳能电池研究现状

高效率是钙钛矿太阳能电池最引人注目的优势。钙钛矿电池的理论极限效率为 33%，远高于晶硅电池的 29.4%。通过优化电池的组分、微观结构、制备工艺等，实验室中制备钙钛矿电池的效率屡创新高。2022 年 7 月，中科院半导体所研发的钙钛矿电池获得了 25.6% 的认证效率，仅次于韩国蔚山国立科学技术研究院（UNIST）于 2021 年创造的 25.7% 的世界最高效率纪录。

钙钛矿电池的光谱响应范围在 300 ~ 800 纳米，即可见光波段，而晶硅电池、铜铟镓硒（CIGS）电池等可以吸收利用红外光。因此，将钙钛矿电池和晶硅、CIGS 等电池组成叠层电池，能够充分利用各波段的光照，获得更高的光电转换效率。而钙钛矿电池自身的吸收光波段范围也可以通过调节带隙作出改变。将宽带隙和窄带隙的钙钛矿电池组成叠层电池，光电转换效率可以显著提高。2022 年 6 月，南京大学研发出效率为 28.0% 的钙钛矿/钙钛矿叠层电池，刷新了世界纪录。

适用于建筑物、便携式设备、消费品等应用场景的柔性钙钛矿电池和室内钙钛矿电池也是当前的研究热点。清华大学研发的柔性钙钛矿电池最高效率为 23.6%，刷新了世界纪录；目前室内钙钛矿电池的世界最高效率由陕西师范大学保持，在 824.5 勒克司的室内灯光照射下，电池效率高达 40.1%。

（二）钙钛矿光伏组件技术发展现状

钙钛矿光伏组件属于薄膜组件，是在玻璃上依次沉积钙钛矿电池的各层薄膜，并封装制成的。电池中的空穴传输层、电子传输层、对电极等各层薄膜通常采用真空沉积法制备，而钙钛矿吸收层的制备工艺分为湿法和干法 2 种类型。典型的湿法工艺例如狭缝涂布法，设备构造较为简单，易于将电池薄膜涂布面积从实验室制备的毫米级拓宽到数十厘米，因而为目前大部分试验产线所采用。但考虑到增大组件面积将对薄膜质量提出更高的要求，真空蒸镀等干法工艺可能更适用于 1 米以上宽度大面积组件的量产产线。

由于大面积薄膜质量控制难度较高，钙钛矿组件面积越大，效率下降越多。目前，数十平方厘米的小组件效率可达到 20% 以上，数百平方厘米的组件效率可达到 18%，而 0.1 平方米以上的组件效率仅在 16% 左右。可见，适合于大规模应用的大尺寸钙钛矿组件效率仍待提高。

现已初步建成及在建的钙钛矿组件产线均为百兆瓦级及以下的试验线，采用湿法涂布钙钛矿吸收层薄膜。基于与量产相近的产线条件，组件的材料配方、生产工艺、产品规格设计等有望快速优化。

钙钛矿/晶硅叠层组件与常规钙钛矿组件的主要区别在于，钙钛矿电池薄膜并非直接沉积在整面玻璃上，而是沉积在晶硅电池片上。一方面，较小的薄膜面积降低了对薄膜沉积设备的尺寸要求，与晶硅电池片产线的耦合也有助于降低生产成本；另一方面，钙钛矿电池需与晶硅电池进行带隙匹配，电池设计难度较大。目前，实验室中制备的 20 平方厘米钙钛矿/晶硅叠层组件最高效率为 26.63%，但尚未有钙钛矿叠层组件中试线建成投产。此外，基于

钙钛矿电池的轻薄、半透明等特点，也有研究机构和厂商正在研发柔性组件和彩色组件。这些特殊组件有望在可穿戴设备、建筑等场景获得应用。

钙钛矿光伏产业化面临的挑战

（一）钙钛矿电池长期服役的稳定性问题

钙钛矿太阳能电池的稳定性问题是实际应用中面临的首要挑战。在水汽、高温、紫外线照射等外界条件刺激下，钙钛矿电池易发生降解，性能严重衰减。提高钙钛矿电池稳定性的措施主要有2个层面，一是优化电池本身的组分和微观结构等，二是优化钙钛矿光伏组件的封装材料和封装工艺。

（二）大面积钙钛矿组件的效率和品质问题

大面积钙钛矿组件的效率和品质偏低，主要原因在于大面积薄膜沉积设备和工艺水平受限。不同于晶硅组件将多个小面积电池片串并联的模式，钙钛矿组件的镀膜面积达到平方米级。目前，国产真空镀膜设备的大面积均匀连续镀膜性能与国际先进水平存在差距。此外，大面积镀膜产线上的工艺调试难度也较高。

（三）光伏产线设备关键部件的短板问题

我国光伏行业经过多年快速发展，已基本实现全生产线设备国产化，但设备的部分关键部件仍依赖进口。例如，真空镀膜设备中的真空泵、射频电源、阀门等，激光刻蚀设备中的激光器、振镜等，技术指标和质量可靠性与国际主流厂商存在较大差距。虽然我国的光伏产线设备厂商较早涉足了钙钛矿组件生产设备开发，并已取得初步成果，使我国的钙钛矿组件小试、中试、量产线始终保持高度国产化，但关键部件的短板在钙钛矿组件产线中同样存在，可能成为我国钙钛矿光伏产业链中的“卡脖子”环节。

推进钙钛矿光伏产业化的建议

（一）有效发挥政府引导作用

为助力钙钛矿光伏技术的产业化进程高效有序推进，应充分发挥国家能源主管部门和科技主管部门规范和引导作用，制定技术指标，出台激励政策；建立“政产学研用”协同机制，鼓励各种技术路线、各类研发和市场主体广泛参与钙钛矿光伏技术的产业化进程。地方各级政府应切实落实《“十四五”能源领域科技创新规划》《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022~2030年）》等国家政策要求，制定推进钙钛矿光伏产业化的具体方案和激励政策，遵循科学、务实、严谨的原则，促进适合本地区的钙钛矿光伏产业链环节健康发展。

（二）多专业领域协作形成合力

钙钛矿光伏技术的实验室研发工作主要由材料学、化学、物理学等领域的学者主导，而进入产业化阶段，涉及的技术领域更丰富，产业链环节更多，多专业领域协作的必要性凸显，特别是有必要积极引入各专业领域的先进技术，以提升钙钛矿光伏产业化的效率和效果。

（三）加快推进钙钛矿光伏产品的实证试验和示范应用

钙钛矿光伏组件的不稳定性、有毒金属泄漏等潜在风险将对其大规模推广应用造成阻碍。因此，有必要尽快通过大量实证试验和示范应用，摸清其实际服役性能和安全性，从而准确评估其应用风险，为推广应用提供科学支撑。

（四）构建钙钛矿光伏技术标准体系，积极争取掌握国际标准话语权

为确保钙钛矿光伏产品的生产和应用技术具备规范性、系统性、可推广性及与现有光伏应用技术体系的兼容性，应在钙钛矿光伏产业化过程中同步建立标准体系。钙钛矿光伏标准体系的构建，应以现行光伏技术标准体系为基础，面向应用需求，充分体现钙钛矿光伏产品生产和应用的特点，并考虑到钙钛矿光伏技术仍在不断发展变化的实际情况，兼顾规范性和灵活性。

现行光伏国际标准体系的建立起源于20世纪80年代，我国的晶硅光伏行业作为后起之秀，是在既有的国际标准体系框架下发展起来的，在国际标准制定中的原创性贡献较少，在国际标准组织中的参与度偏低，话语权较弱。而在钙钛矿光伏领域，我国与国际上研究水平相当，且产业化进度和规模略有优势，应抓住时机，积极支持我国钙钛矿光伏领域，特别是产业化一线的技术专家加入国际光伏标准组织，深度参与钙钛矿光伏标准制定工作，在国际标准体系中争取更大的话语权，从而提升我国钙钛矿光伏产业的国际竞争力。（侯孟婧 张彤枫 葛扬 杨璐）

捕捉看不见的“太阳能量”

我国科学家通过红外光上转换实现高效太阳光合成

中国电力报 2023.2.17

近日，记者从中国科学院获悉，中科院大连化学物理研究所吴凯丰研究员团队在量子点光化学研究中取得重要进展，相关成果发表在《自然·光子学》（Nature Photonics）上。该团队率先实现了低毒性量子点敏化的近红外至可见光上转换，并将该体系与有机光催化融合，实现了高效快速的太阳光合成，有望对光合成技术产生深远影响。

推动光合成技术发展

据研究团队介绍，太阳光中蕴含着大量的红外光子，这些光子不为人眼所见，且能量较低，通常难以有效转化和利用，基于太阳光开展能源转化和工业生产，是解决全球能源危机、助力我国实现“双碳”目标的重要路径之一。胶体量子点是一类溶液法生产的理想捕光材料，它们的吸光范围很容易被拓展至红外波段。同时，吸光后的激发态量子点能够参与丰富的光化学转化过程，生产太阳燃料或者精细化学品，是国际上的重要科学前沿。

此外，红外光到可见光的上转换在能源、医学、国防等诸多领域具有重要意义。例如对太阳能电池而言，上转换能使器件有效利用阳光中大量的低能量红外光子，颠覆性地提升太阳能转换效率。在各类上转换技术中，基于有机分子三线态湮灭的光敏化技术可对非相干、非脉冲光源实现上转换，具有较强的实用前景。

然而，此前报道的近红外光敏剂普遍效率较低或含有贵金属和有毒金属，相对廉价环保的高效近红外光敏剂仍有待开发。

“一个世纪以来，在阳光下进行有机合成是许多科学家的想法，但前期的探索主要局限于利用太阳光中的可见光子。”吴凯丰表示，“我们的这项研究将太阳能合成的范围扩大到了阳光中丰富的可见光和近红外光子，将有力地推动光合成技术的发展。”

量子效率高达 16.7%

前期工作中，该团队深入系统地研究了量子点敏化有机分子三线态的动力学机制，并探索了这些新机制在光子上转换、有机光合成等领域的初步应用。此次研究中，团队聚焦于铜铟硒（CuInSe₂）基近红外量子点，该类量子点相对绿色环保，可用于替代剧毒性的铅基近红外量子点。

团队制备了硫化锌（ZnS）包覆的锌（Zn）掺杂 CuInSe₂ 核壳量子点，有效解决了该类量子点缺陷多和稳定性差的难题。随后，在量子点表面修饰羧基化的并四苯分子作为三线态受体，并采用红荧烯分子作为湮灭剂，构建了溶液相上转换体系。该体系成功实现了近红外至黄光的上转换，量子效率高达 16.7%。

进一步地，团队将该上转换体系与有机光催化融合，将上转换产生的红荧烯单线态直接用于“原位”有机氧化、还原、光聚合等反应，巧妙避免了上转换光子传播至溶液表面所经历的量子点重吸收损失。

此外，得益于近红外光子的有效利用和量子点的宽谱吸收特性，该上转换—有机催化融合体系可在太阳光下高效快速运行。在室内窗台上（光照强度约 32mW/cm²），几秒内即可实现丙烯酸酯的光诱导聚合。

该工作不仅实现了低毒性量子点敏化的近红外至可见高效上转换，还发展了一种高效快速太阳光合成的新路径，这一交叉创新型研究成果对光化学和光合成技术的发展具有重要意义，为未来进一步生产太阳燃料或者精细化学品奠定基础。（于琳娜）

为研究纳米尺度的光操控提供新平台 我国科学家成功创制“光晶体管”

科技日报 2023.2.28

纳米尺度的光电融合是未来高性能信息器件的重要发展路线。如何在纳米尺度对光进行精准操控是其中最关键的科学问题。

利用极化激元是实现纳米尺度光操控的新思路。2月10日，《科学》报道了一项极化激元领域的重要进展。经过十多年的不懈努力，国家纳米科学中心戴庆研究团队实现了极化激元的高效激发和长程传输。在此基础上，他们成功创制“光晶体管”，实现纳米尺度光正负折射调控，显著提升了纳米尺度光操控能力。

光电融合是未来方向

与电子相比，光子具有速度快、能耗低、容量高等诸多优势，在大幅提升信息处理能力方面被寄予厚望。因此，光电融合系统被认为是构建下一代高效率、高集成度、低能耗信息器件的重要方向。

“光电融合能够发挥光传输、电计算的优势，成为后摩尔时代的重要技术路线。”国家纳米科学中心研究员戴庆解释，然而，由于光子不携带电荷且光的传输受限于光学衍射极限，和能轻易通过电学调控的电子相比，对光子的纳米尺度调控并不容易。

极化激元是一种由入射光与材料表界面相互作用形成的特殊电磁模式，也可以被认为是一种光子与物质耦合形成的准粒子。它具有优异的光场压缩能力，可以轻易突破光学衍射极限，从而实现纳米尺度上光信息的传输和处理。

戴庆研究团队率先提出了利用极化激元作为光电互联媒介的新思路，充分发挥它对光的高压缩和易调控优势，不仅有望实现高效光电互联，还可以提供额外的信息处理能力，从而进一步提升光电融合系统的性能。

在近期的研究中，戴庆研究团队成功给低对称极化激元拍了照，实现了低对称声子极化激元的实空间成像，证实了近场“轴色散”效应，揭示了一种新的在纳米尺度实现光子操控的可行路径。

同时，他们还大幅提高了纳米尺度的光子精确操控水平，成功将 10 微米波长的红外光压缩成几十纳米波长的极化激元，并调控性能，实现平面内的能量聚焦和定向传播。

对此，戴庆解释道：“光电互联是光电融合的重要基础，它相当于光电两条高速公路交汇的收费站，而构筑极化激元光电互联相当于将原来的收费站改造成立交桥，从而大幅增加传输通道和提升信息处理的速度。”

证实一项非常规物理现象

在前期研究的基础上，研究团队设计并构筑了微纳尺度的石墨烯/氧化钼范德华异质结，实现了用一种极化激元调控另一种极化激元开关的“光晶体管”功能。

在戴庆看来，这项研究充分发挥了不同材料的纳米光子学特性，突破了传统结构光学方案在波段、损耗、压缩和调控等多个方面的性能瓶颈。

“相比人工结构，聚焦于材料自身的光子学特性是另一种更加直接获取光学功能的途径。”研究团队成员、国家纳米科学中心副研究员胡海打了个比方，“就像《舌尖上的中国》所说的‘高端的食材往往只需要采用最朴素的烹饪方式’。利用简便的范德华材料堆叠，便可以实现奇异的光学调控功能，比如我们展示的负折射效应。”

所谓负折射，是指入射光与折射光在界面法线同侧的特殊物理现象。“简单来说，就是光沿‘错误’方向偏折了。”胡海解释说，“举个例子，负折射就像我们在镜中观察世界，与真实世界相比，一切都是颠倒的。”

“我们利用电学栅压对极化激元这种光波的折射行为实现了动态调控，使其从常规的正折射转变到奇异的负折射。这意味着可以像操纵电子一样操纵光子，这对将来高性能光电融

合器件与系统的发展有重要的促进作用。”戴庆表示，在应用上，这项研究面向光电融合器件走向大规模集成缺乏高效、紧凑光电互联方式的重大需求。在科学上，研究为解决突破衍射极限下高效光电调制的难题提供了新思路。

“这是一项非常有趣的研究。”该论文审稿人评价说，“这证实了一项非常规的物理现象，为研究纳米尺度的光操控提供了崭新的平台。”（陆成宽）

六、地热

国内首创海底钻热联合作业实现 203 米地温测量

中国科学报 2023.2.6

本报讯（记者朱汉斌）记者从广州海洋地质调查局获悉，近日，该局“海洋地质二号”船团队创新性地为中国地质调查局首套 200 米海底保压钻机拓展了地温测量功能，并成功应用于天然气水合物资源勘查，开创了大孔深海底钻机与温度测量仪“钻热”联合作业的模式。

据了解，该团队根据海底钻机的作业特点，专门设计了一款可搭载 FY-2 型温度测量仪的工具，成功开发了钻探取芯和地层原位温度测量两种模式在作业过程中的切换功能。该作业模式可连续稳定工作 65 小时以上，能进行 200 米全孔深任意层位的原位高精度温度测量。

在南海天然气水合物区，团队利用该项创新技术对天然气水合物上覆地层和天然气水合物储层进行钻探取芯与原位温度测量，从 19 米至 203.5 米的不同设计层位获取了共计 720 个地温数据，创造了国内地层深度地温测量的新纪录。获取的高精度数据和样品为天然气水合物稳定带和储层评价等研究提供了有力支撑，对揭示天然气水合物成藏的控制机制和作用具有重要意义。

据介绍，钻进取芯与温度测量功能高度集成于海底钻机上又不互相干扰，为 FY-2 型温度测量仪提供了一种全新作业模式，充分表明 200 米海底保压钻机的功能具有很大拓展空间。

地热能有望“热”起来

经济日报 2023.2.23

当前，我国的地热能与风能、太阳能相比，仍然是小众能源。作为可再生能源的地热能，资源的利用有多种形式。未来一段时间，更广泛地因地制宜、科学开发、按需供能将成为地热能大规模发展的必然选择。

有一种能源，用于供暖价格低廉、没有污染，用于发电安全稳定、取之不尽，它就是地热能。在近日举行的 2023 世界地热大会组委会第二次全体会议上，国家能源局副局长任京

东表示：“地热能是储量丰富、分布较广、稳定可靠的新能源，大力推动地热能开发利用，是立足我国能源资源禀赋，有计划分步骤实施碳达峰行动的重要抓手。”作为“地热界的奥林匹克”，世界地热大会今年将首次在我国举办，有望推动我国地热能发展迈上新台阶。

地热能“家族庞大”，通常说的地热能是指赋存于地球内部岩土体、流体和岩浆体中且能够被人类开发和利用的热能，包括土壤源、地下水源和地表水源3类浅层地热能，以及水热型中深层地热能和干热岩地热资源。人们熟知的温泉和用于取暖的地源热泵，都属于典型的地热能利用方式。

作为可再生能源的地热能，跟风光资源一样无处不在，具有储量大、利用效率高、运行成本低和节能减排等优势。地热能资源的利用有多种形式，如发电、供热、制冷，甚至制取高于自身温度的低压蒸汽，尾水可以提取稀有矿物元素，并且可以通过梯级利用实现多种功能，大幅提高利用率。同时，地热能不受季节、气候、昼夜变化等外界因素干扰，稳定性极强，是实现“双碳”目标不可或缺的重要力量。

我国地热能资源丰富，自然资源部中国地质调查局调查评价结果显示，336个地级以上城市浅层地热能年可开采资源量折合7亿吨标准煤；全国水热型地热资源年可开采资源量折合19亿吨标准煤；深埋在3000至10000米的干热岩资源折合856亿吨标准煤。对比2021年我国全年52.4亿吨标准煤的能源消费总量，地热能可谓一座巨大的能源宝库。

“十三五”时期以来，我国地热行业取得了显著发展。截至2020年年底，我国地热直接利用规模达40.6吉瓦，全球占比38%，连续多年位居世界首位。我国地热能供热制冷面积累计达13.9亿平方米，近5年年均增长率约23%。在北方地区冬季清洁取暖推广中，地热能供暖已经扮演了重要角色，一些城市新区、县城利用地热能已实现100%清洁供暖。

尽管如此，但我国地热能还没有“热”起来。与风能、太阳能相比，地热能仍然是小众能源。《“十四五”可再生能源发展规划》提出，积极推进地热能规模化开发，积极推进中深层地热能供暖制冷，全面推进浅层地热能开发，有序推动地热能发电发展。《关于促进地热能开发利用的若干意见》明确，到2025年，地热能供暖（制冷）面积比2020年增加50%，全国地热能发电装机容量比2020年翻一番。按照这一指引，地热能将迎来加速跑。

考虑到产业成熟度、资源匹配度、需求迫切度等因素，地热能供暖具备优先快速推广的条件。在北方严寒、寒冷地区，可以通过分布式方式就地开发地热能满足采暖需求，还可以将地热能通过高温热泵提温后送入城市供热管网，更大范围发挥地热供暖的优势。在长江中下游等夏热冬冷地区，由于地表和地下水系发达，且冷热负荷需求均有，可充分利用各种形式的浅层地热能进行冷热联供，既能满足长久以来长江中下游流域冬季供暖需求，又能减少分户式天然气、电采暖对化石能源和电力的需求。

由于大量可利用的地热能资源远离能源市场，所以要更好地利用地热能，就需要把它变为电能再进行长距离输送。我国高温地热资源主要位于藏南、川西、滇西等地区，是地热发电的主要阵地。地热发电可与区域电网中风电、光伏等不稳定电源形成多能互补，提供稳定

可靠的基础电源和调峰能力。未来，随着干热岩发电技术的突破，地热发电有望实现更大规模发展。

地热能还是个“多面手”。地热供能的温度与温室种植、人工养殖孵化以及众多工业中烘干、加热、杀菌等工艺过程所需温度接近，是地热能开展多元化产业应用、挖掘更广阔清洁替代市场的重要方向。

从总体来看，当前地热能依然在商业化的大门口徘徊，地球内部取之不竭的热能尚未开发。未来一段时间，更广泛地因地制宜、科学开发、按需供能将成为地热能大规模发展的必然选择。要加大勘探投入与规划布局，加强科技引领与装备创新，加强超前布局前瞻性、革命性地热理论和技术研究，持续推动地热产业降本增效。（王轶辰）

我国首个跨地级市核能供热长输管网工程开工

中国电力报 2023.2.20

本报讯（记者 支彤 通讯员 韩品品）2月14日，在山东烟台市重点项目集中开工仪式上，烟台海阳至威海乳山的核能供热长输管网工程启动，这是“暖核一号”三期90万千瓦核能供热工程的配套输热管网，标志着我国首个跨地级市的核能供热长输管网工程正式开工，将实现零碳热源的跨区域互通共享，对于推动烟威地区“双碳”经济协同发展、胶东经济圈一体化发展具有重要意义。

作为国家“十四五”规划重点工程，“暖核一号”三期90万千瓦核能供热工程是世界最大的单台机组抽汽供热工程，采用具有完全自主知识产权的核能零碳供热技术，于2022年7月开工。目前，“暖核一号”核能供热热源项目已完成投资3.9亿元。90万千瓦核能供热工程厂内热源建设等正在稳步推进，利用2号机组换料窗口，机组本体工程已完成，厂内供热管网、泵站正在按计划高质量建设。该工程计划于2023年年底前投运，届时实现乳山跨区域核能供热，年供热能力可达970万吉焦，供热区域可达青岛、烟台、威海地区，满足100万居民供暖需求，同时可替代原煤消耗90万吨，减排二氧化碳165万吨。

此次开工建设的海阳至乳山配套长输管网工程主要为海阳市境内相关设施，总投资约7亿元，包括长输供热主管线23千米，设计供热能力1300万平方米。同时配套建设1座热源分配中心，采用智慧调度管控平台进行参数监测、数据分析与智能管控，并根据天气变化适时进行温度调控，实现智慧供热、科学供热和稳定供热。乳山市境内的供热管道由乳山市投资建设，海阳段长输供热管网将与乳山境内管网联通，为乳山居民提供清洁稳定的热源，有力保障群众冬季取暖需求。

作为我国核能综合利用的先行者和示范者，国家电投山东核电制定实施了核能供热“三步走”策略，于2019年在国内率先建成投运“暖核一号”一期园区级核能供热工程，被国家能源局命名为“国家能源核能供热商用示范工程”；于2021年建成二期县域级核能供热工程，助力海阳市成为全国首个零碳供暖城市，与核能供热之前相比，供暖季空气中的

PM2.5 下降了 16%，天气优良率上升了 17%；三期 90 万千瓦区域级核能供热工程正在建设中。截至目前，“暖核一号”已累计提供清洁热量 410 万吉焦，相当于节约原煤 37 万吨、减排二氧化碳 68 万吨，取得了显著的社会和环境效益，同时，为地方产业发展拓展了环境容量空间。

据了解，国家电投山东核电将全力以赴、扎实开展厂内热源建设，与海阳、乳山协同推进厂内外工程同频共振、有效衔接，保障项目按期投用，为山东建设绿色低碳高质量发展先行区作出积极贡献，助力我国“双碳”目标早日实现。

中国地热产业如何跑出加速度？

中国电力报 2023.2.24

核心提要

●相比天然气、生物质、煤炭等，中深层地热能供暖在优质资源区开发利用的经济性有明显优势，运行成本较低

●随着国家愈发重视可再生能源发展，地热矿权等资源指标作为新能源项目的立项根本和首要前提，成为新能源企业抢抓的重要资源

●加强地热能行业的信息化管理水平，对摸清行业底数、规范管理流程、衔接可再生能源消费量等工作具有重要作用

“十四五”及今后一段时期，我国将坚决落实碳达峰碳中和目标任务，地热能等可再生能源进入高质量跃升发展新阶段。

近日，第七届世界地热大会组织委员会第二次全体会议及国家地热能中心 2023 年度工作会议在京举办。与会专家、企业代表群策群力，共谋推动我国地热产业跑出加速度、迈上新台阶，实现高质量发展的良策。

资源丰富 开发利用空间广阔

我国地热能资源丰富，开发利用空间广阔。全国 336 个主要城市浅层地热能年可采资源量折合 7 亿吨标准煤，中深层地热能年可采资源量折合 18.65 亿吨标准煤，干热岩地热能资源潜力巨大。

记者获悉，近年来随着我国生态文明建设不断推进，大气污染治理和推进北方清洁供暖的力度不断增强，地热能开发利用规模持续扩大，北京城市副中心、北京大兴国际机场、雄安新区等一批重大工程纷纷使用地热能供暖（制冷）。

国家能源局等九部门联合印发的《“十四五”可再生能源发展规划》明确“积极推进地热能规模化开发”，提出到 2025 年地热能供暖等非电利用规模达到 6000 万吨标准煤以上的发展目标。“地热能开发利用大有可为。”中国石化集团新星石油有限责任公司新能源研究院院长杜利在接受记者采访时表示，我国应继续加强中深层地热供暖项目发展。相比天然气、生物质、煤炭等，中深层地热能供暖在优质资源区开发利用的经济性有明显优势，运行

成本较低。同时，地热又是本土能源，是天然气、煤炭以外服务采暖的重要能源供应形式。

“建议国家支持公共建筑采用地埋管方式开展浅层地热能供暖（制冷）项目建设，进行冷暖双供。”杜利说，这种方式既有利于提高设备的利用率，又有助于保持地下热能的取用平衡。

同时，地热能在农业领域发挥的作用也不容小觑。目前，我国利用地热能进行水产养殖已遍布 20 多个省，形成了一定规模。

政策领航 地热发展动能充沛

近年来，《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《“十四五”可再生能源发展规划》《关于促进地热能开发利用的若干意见》等政策的出台，为地方推进落实能源转型发展和实施“双碳”战略提供了依据。

各地纷纷将地热能开发利用纳入各省（区、市）的能源总体规划、城市绿色建筑发展规划、碳达峰实施方案及乡村振兴战略等，将国家地热领域的顶层设计进行具体化落实，对于地热产业的管理职责、发展思路进行了进一步明晰，有助于推动地热能规模化开发利用，实现产业的高质量发展。“我们也要清醒认识到，我国还只是地热能开发利用大国，不是强国。地热能开发利用还面临挑战。”与会专家建议，持续加强地热应用技术研究和关键技术攻关，进一步深化砂岩热储回灌技术、井下换热技术应用研究，集中力量研发干热岩资源开发利用关键技术，攻关地热能发电关键技术和成套装备等。

“随着国家愈发重视可再生能源发展，地热矿权等资源指标作为新能源项目的立项根本和首要前提，成为新能源企业抢抓的重要资源。”国家地热能中心指导委员会副主任兼秘书长党力强表示，当前，我国地热产业发展还面临着一些发展瓶颈。比如，地热探矿管理方面，各地政策还不明晰，目前只有河北、天津、陕西出台了地热矿权的办理流程，部分地区地热矿权与油区矿权等其他矿权还存在重叠问题。对此，国家地热能中心将及时高效做好政策研究和市场分析，积极向国家能源局、各省市政府建言献策，做好地区发展规划研究，主动对接和协助相关省（市）编制新能源发展规划，推动地方出台新能源产业利好政策，营造有利于地热能发展的政策环境，积极争取地热矿权、经营权等基础资源，争取地热资源税政策支持，不断赢得产业扶持。

构筑平台 凝聚行业发展共识

加强地热能行业的信息化管理水平，对摸清行业底数、规范管理流程、衔接可再生能源消费量等工作具有重要作用，是保障地热能开发利用持续健康发展的基础性工作。

2022 年 8 月，国家能源局印发了《关于加快推动地热能开发利用项目信息化管理工作的通知》，目前，各地正在抓紧开展相关工作。记者从会上获悉，全国地热能开发利用信息管理平台建设正逐步推进，正在解决此前地热数据来源多、统计信息不准确的行业顽疾，将为各地区地热开发决策提供支撑。

与会人士建议，要持续推进地热数据统计平台深化应用工作，引导各地方政府、相关地

热企业关注地热能项目数据统计的重要意义，积极在平台内填报地热信息数据，争取早日将其纳入国家能源利用统计体系。同时，做好与可再生能源信息管理中心的数据衔接工作。

会上，国家地热能中心还宣布了首批入选“中国地热供暖百万平米俱乐部”的20家企业名单，其项目覆盖北京、天津、河北、山东、河南、陕西、山西等主要地热产业省份，涵盖浅层中深层地热供暖、地热发电、温泉旅游等地热全产业链，具有广泛的行业代表性。据悉，该俱乐部的创立，将为促进地热行业信息互联互通、培育认证地热领军企业、提升自主创新能力和竞争力起到有效推动作用，未来将定期开展地热数据共享、技术和项目交流等活动，促进我国地热企业的成长发展。（王若曦）

七、海洋

固碳量巨大，固碳效率高，碳储存周期长

海洋碳汇开启新蓝海

中国能源报 2022.2.13

海洋碳汇在“双碳”战略中占据关键地位，我国海洋碳汇资源丰富，前景广阔。目前，《海洋碳汇核算方法》行业标准已施行，加快海洋碳中和核算机制与方法学研究，研发制定海洋碳汇标准并开展海洋碳汇交易试点，有利于我国把握未来发展主动权。

近日，由自然资源部批准发布的《海洋碳汇核算方法》行业标准（HY/T 0349-2022）（以下简称《核算方法》）正式实施。《核算方法》中明确，将海洋碳汇定义为“红树林、盐沼、海草床、浮游植物、大型藻类、贝类等从空气或海水中吸收并储存大气中的二氧化碳的过程、活动和机制”。

据了解，我国有着1.8万公里的大陆海岸线和近300万平方公里的管辖海域，全国海岸带范围内广泛分布着红树林、盐沼、海草床等“蓝碳生态系统”，碳汇资源十分丰富，海洋碳汇发展空间潜力巨大。

当前阶段，海洋碳汇作为全新蓝海，其经济价值尚未被广泛了解和认可，海洋碳汇资源亟待推广开发。对此，海洋碳汇发展该怎么做？

■多地开展前期工作

“海洋是减缓和适应气候变化的重要领域。相比于陆地的几种生态系统碳汇，海洋生态系统固碳量巨大，固碳效率高，碳储存周期长。”自然资源部海洋一所海岸带科学与海洋战略中心主任刘大海表示，这些优势潜力决定了海洋碳汇在国家双碳战略中的关键地位。

值得一提的是，当前已有沿海省市开始着手海洋碳汇发展前期工作。去年12月，广东省发展改革委印发《广东省“十四五”现代流通体系建设实施方案》指出，支持深圳排放权交易所开展海洋碳汇交易试点。在刚刚结束的地方两会中，山东、天津等地均提出了海洋碳汇建设提案。

“当前，我国海洋碳汇的基础工作已经全面展开，在海洋碳汇相关制度建设、理论研究
与增汇技术研发、监测调查评估与标准化建设、海洋碳汇核算系统理论与实践等方面得到有
效推进，并取得了一些成果与发展经验。”刘大海表示。

据刘大海介绍，福建、广东、上海、山东、海南等多个沿海省市已经全面开展了海洋生
态系统碳汇本底调查工作，并逐步构建了海洋生态系统碳汇本底调查、碳汇监测、储量评
估、潜力评估和保护修复增汇成效评估的碳汇核算体系，建立了海洋碳汇资源管理综合平
台。“山东省还积极探索了区域碳普惠机制，建设蓝碳交易平台，推动海洋碳汇由资源向资
产转化，创新海洋生态系统碳汇发展模式和途径，这些现有的先行经验与方案都值得其他沿
海省市推广、借鉴和复制。”

■ ■ 有望参与碳市场交易

齐鲁工业大学（山东省科学院）二级研究员周勇表示，海洋碳汇要想发挥作用，必须
体现出经济价值，如参与碳市场交易，而能够加入国家核证自愿减排量（CCER）是前提条
件。如果不能被国际社会承认，并冲抵相应碳排放，海洋碳汇最终只能算作应对气候变化的
自愿行为。

据了解，CCER 机制是全国碳市场建设的重要补充。全国碳市场和地方碳市场均允许控
排企业使用 CCER 抵消一定比例的碳配额清缴。CCER 自 2012 年推出以来，被广泛用于地
方试点市场的碳配额清缴履约，但由于在实施过程中存在项目不规范、减排备案远大于抵消
速度、交易空转过多等问题，从 2017 年 3 月起，我国暂停了 CCER 项目的备案审批。

一位不愿具名的业内人士表示：“在 CCER 机制上一阶段的运行期内，海洋碳汇尚未被
纳入其中。一是海洋碳汇方法学体系尚未建立。海洋碳汇机理复杂，难以准确量化评估海洋
生物机制和非生物机制的固碳作用、评估管理措施和人为活动对碳汇的影响；二是海洋碳汇
项目开发存在一定的技术限制。CCER 项目开发涉及项目记入期与规模的选择、项目碳库的
选择等微观层面，且项目开发中对技术人员的水平有着较高要求，例如红树林恢复项目中需
要造林、抚育、管护等，受海洋碳汇计量与监测技术的影响多。”

“目前，《海洋碳汇核算方法》已经正式实施。该标准系统规范了海洋碳汇核算工作的
流程、内容、方法及技术等要求，构建了适用于我国海洋碳汇核算的方法学，对推动海洋碳
汇的规范化计量有着重要意义。”刘大海表示。

上述业内人士也表示，《核算方法》的实施为海洋碳汇纳入 CCER 机制创造了一定条
件。

■ ■ 获得市场认可

国内多地开展海洋生态系统碳汇本底调查工作，《海洋碳汇核算方法》正式出台，接下
来，海洋碳汇发展还需哪些突破？

市场认可度高，海洋碳汇才能走得远。“这需要构建更加符合市场需求的海洋碳汇方
法学体系。在《海洋碳汇核算方法》等标准的基础上，进一步开发细化领域如海洋牧场的方

法学。结合市场、技术等发展，更新方法学的计算方式、计算参数等，使之与现实情况相匹配，并考虑适配未来发展需要。”刘大海表示。

在 CCER 尚未重启的当下，依托碳普惠机制发展海洋碳汇是推动海洋碳汇走向市场、推进全社会低碳行动的重要措施。“碳普惠概念比较宽泛，界定和核算也没有强制性，可以各自发挥特色优势。通过碳普惠实现海洋碳汇的潜在价值，可以在更大范围内被认可，推动海洋碳汇的发展，逐渐体现其价值。”周勇表示。

“将海洋碳汇与碳普惠相结合，需要开发形成海洋碳汇碳普惠方法学，明确海洋碳汇碳普惠基准线、额外性以及计算减排量的方法。鼓励相关组织和个人通过海洋碳汇碳普惠方法学，开发海洋碳汇碳普惠项目，结合当地生态资源情况有效增加碳汇量，并通过挂牌点选、竞价交易、协议转让等多种交易方式进行海洋碳汇碳普惠核证减排量交易。”上述业内人士建议。

“当前，中国碳市场是全球配额成交量第二大的市场，若能在《海洋碳汇核算方法》的标准基础上，率先开展海洋碳汇交易试点，必将有利于把握未来竞争的主动权。”刘大海表示。

延伸阅读：

海洋是减缓和适应气候变化的重要领域，在“双碳”目标中发挥着至关重要的作用。海洋碳汇（蓝碳）作为一项系统性工程，涉及多领域的各种低碳、零碳和负碳技术、核算方法和价值实现路径，共同构成了一个多维的复杂系统。为了规范化核算我国海洋碳汇能力和潜力，《海洋碳汇核算方法》行业标准在解决海洋碳汇的量化问题方面提供了一套完整的实施方案：系统规范了海洋碳汇核算工作的流程、内容、方法及技术等要求，构建了适用于我国海洋碳汇核算的方法学体系，确保了海洋碳汇核算工作有标可依，填补了该领域核算方法行业标准的空白，有利于推动我国海洋碳汇赋能海洋经济高质量发展。（林水静）

中外学者合作补齐海洋铅循环拼图

中国科学报 2023.2.7

本报讯 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室教授赵宁与新加坡国立大学、美国麻省理工学院等多家机构的科学家合作，揭示了陆源颗粒物与海水的物质交换是全球海洋铅循环的重要环节。该发现很好地解释了海水铅源-汇不平衡的缺失通量。相关论文近日发表于美国《国家科学院院刊》。

前人基于钹同位素等研究，发现大陆边缘的沉积物能与海水发生物质交换，从而改变海水中一些元素的同位素组成，这一过程被称为边界交换。然而，边界交换对海洋同位素的影响是否适用于更多元素，以及边界交换是否可以显著影响海洋元素收支通量则很少被关注。而对于铅元素而言，颗粒态形式的河流入海通量是溶解态的数百倍。

该研究团队通过野外采样、实验室分析、数据集成与模型计算等手段，对马来半岛周围

多个站位的海水同位素数据进行综合评估分析，发现海水铅同位素组成并不能用河流与海洋的混合来解释。基于模型的计算结果则显示，河流输入颗粒物与海水的铅交换可以很好地解释马来半岛周围海水的铅同位素异常。模型研究进一步表明，颗粒态-溶解态交换导致由颗粒物向海水转移的铅元素净通量随海水浓度升高而降低。由于人类活动的影响（如含铅汽油的使用），当今许多地区表层海水的铅浓度较高，陆源颗粒物可能会成为海水铅汇。但对人新世之前的海洋，由于海水铅浓度较低，颗粒态-溶解态交换的净效果使得陆源颗粒物成为重要的海水铅源。

该研究收集了全球深海自然状态下（前人新世）的铅同位素数据，发现陆源沉积物对海水铅的影响并非局限于浅海。对于西北大西洋以及孟加拉深海扇等区域，大量陆源物质被运输到深海，由于深海铅浓度很低，颗粒态-溶解态交换使得陆源物质成为深海铅的重要来源。这也意味着，通过陆源沉积物向深海的运输，河流对海洋铅的影响远超河口淡水的影响范围。研究人员进一步估算了边界交换对前人新世全球海洋铅的贡献，表明这一贡献可以填补海洋铅源-汇不平衡的缺失通量。（张双虎 黄辛）

我国海洋可再生能源产业化发展路径探析

中国电力报 2023.2.3

核心提要

●我国在海洋能源领域的技术研发自主创新能力不强，许多关键技术仍处在“跟跑”状态；缺少有效激励政策支持海洋能源技术产业化发展需要

●应遵循政府财政投入为主、社会多元化投入为辅的基本原则，逐步实现由项目补贴向装备制造奖励、电价补贴等多种方式的转变；建立完善的成本与价格分摊机制，制定合理的电价及补贴标准

●尽快出台海洋能发展专项规划，明确能源开发的阶段性目标，强化海洋能源发展的顶层设计，避免重复投资和产业同构造成的恶性竞争、资源浪费和环境损害

近年来，海洋可再生能源越来越受到世界各国的重视，我国拥有漫长的海岸线和数量众多的海岛，推进海洋能源的可持续发展有利于推动我国社会和经济的发展，对我国能源转型有着重大影响。

主要能源类型及资源分布

（一）潮汐能

我国潮汐能资源主要分布在沿海地区，以福建和浙江为主，其次是长江口北支（属上海和江苏）和辽宁、广东，其他省区则较少。经过50多年的发展和实践，我国已经建成了70多座潮汐电站，在规划设计、装备制造、施工运营等各方面积累了丰富的经验，具有发展万千瓦级潮汐电站的技术条件。2010年开始，在国家海洋能专项计划的支持下，我国完成了多个万千瓦级潮汐电站的可行性研究，实现了潮汐发电设备的优化和开发，并在江夏潮汐

电站扩建工程中得到有效应用，同时针对新的潮汐能技术展开了更加深入的研究。

（二）潮流能

潮流能资源浙江最多，约占全国的二分之一以上，其次是台湾、福建、辽宁等省份，约占全国总量的42%。目前，我国有30多个潮流设备正在研制中，其中10多个已经通过了海上试验。国内潮流能技术研发主要集中在提高转换效率、降低发电成本、提高可靠性和维护能力等方面。

（三）波浪能

我国波浪能密度分布，浙江中部、台湾、福建省海坛岛以北、渤海海峡密度最高，其次是西沙、浙江的北部和南部，福建南部和山东半岛南岸等能源密度也较高，资源也较丰富。经过多年的发展，波浪能技术在自主创新的基础上，开发了40多种不同的波浪能装置，达到了百千瓦级的装机容量，如国家海洋技术中心的摆式波浪能装置，中国科学院广州能源研究所的鸭式、鹰形波浪能设备等，并在波浪能的核心技术研究上取得重要突破。目前我国的波浪能技术正朝着更加先进的方向发展，但从海上试验的结果来看，在发电功率等方面仍需进一步优化和改进。

产业化发展存在的问题

（一）关键技术薄弱

我国在海洋能源领域的技术研发自主创新能力不强，许多关键技术仍处在“跟跑”的状态。在海试之前，很多海洋能源设备都没有进行足够的实验室样机试验，从而导致相关设备不具备良好的稳定性，并且在试验过程中还需要做好设备的维修和维护工作，进一步增加了设备研发成本，对示范成效也产生一定影响。此外，我国单个机组的总发电量偏低，与发达国家相比仍存在一定差距。

（二）激励政策和产业链不完善

海洋能源技术研发存在着较大潜在风险，需要高昂的成本支出，我国目前尚缺少有效激励政策来支持海洋能源技术的产业化发展需要，对于相关企业支持力度不足，对海洋能源技术成果转化的推动力不足，海洋能源产业链尚不完善，上游技术研发占比较大，下游装备制造、工程建设、并网运行的比重则明显偏低。

产业化发展实施路径

（一）加强国际交流，突破关键技术

首先，为加速专业建设，在相关高校开设海洋能源科学课程，并支持各高校加快建设国家海洋能源重大专项实验室和多学科交叉的创新平台；其次，通过实施相关的奖励措施来加速人才的培养，加大对学科带头人、青年人才和创新队伍的扶持力度；再次，加强海洋能源标准的建立，对海洋可再生能源技术研究和开发的各个环节进行优化；最后，加强以企业为主导的自主研发，建设一批海洋能技术产业化和中试基地，通过产学研合作对其进行科学评价，加快我国海洋能源设备走向大规模工业化生产。

同时，为了在技术上形成符合国内海洋能特征的有利条件，应当积极在全国范围内开展海洋能源先进领域的国际科研合作，引入世界先进技术，并加大“一带一路”沿线各国的技术交流与合作力度，生产适合沿海地区的海洋能源技术设备，达到技术出口和示范作用，从而为海洋能源技术和行业走出国门打下坚实基础。

（二）实现投资主体多元化

海洋可再生能源技术的研究开发具有周期长、成本高、风险大等特征。海洋可再生能源要想实现从试验阶段到商业化转变的目的，就必须解决高成本问题。应该遵循政府财政投入为主、社会多元化投入为辅的基本原则，持续开展并发挥海洋能专项基金在推进技术创新、提升公共服务能力、加强示范应用等方面的带动作用，并逐步实现由项目补贴向装备制造奖励、电价补贴等多种方式的转变。

由于海洋能特别是波浪能发电方面，存在着建设风险高、防漏防压、防海水腐蚀等诸多问题，使得开发费用过高，单一投资机构难以完成。美国、英国对此问题主要是采取了投资主体多元化的办法加以解决。例如，美国新泽西州的海洋能源科技公司，与 11 家美国和州公司以及 3 家非政府利益相关者一起，在俄勒冈州里兹波特沿岸建设了一座 1500 千瓦的风能发电站。我国在海洋资源的开发与利用上，可以充分借鉴欧美国家的先进经验来突破海洋能投资的“瓶颈”，给予一定的绿色信贷激励政策，充分利用民间资本，并拓宽投资渠道，将风险分散到市场上；实施进口、销售增值税等合适的税收优惠制度，通过采取多种形式的财政措施，如给予优惠、延期偿还等促进投资主体的参与。

（三）分类开展并网电价的实践探索

电价既是一只“无形的手”，又是最优化电网资源分配的神经中枢。2006 年 1 月发布的《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》明确了可再生能源发电价格的两种形式，即政府定价和政府指导价。政府指导价即通过招标确定的中标价格。可再生能源发电价格高于当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的差额部分，在全国省级及以上电网销售电量中分摊。

2019 年 6 月，浙江 LHD 潮流能项目临时上网电价获得浙江省发展改革委批复，参考潮汐能上网电价，临时收购电价为 2.58 元/千瓦时。该项目为我国首个获得临时上网电价的海洋能工程示范项目。对于包括潮汐能在内的海洋能发电项目，建立完善的成本与价格分摊机制，制定合理的电价及补贴标准十分必要。过低的电价会严重打击项目业主单位的积极性，而电价定得较高又会给国家资金或省级电网企业带来一定负担。

（四）制定国家级海洋能发展规划

社会经济发展对能源的需求越来越大，对可持续发展提出了更高的要求，传统的能源结构和粗放的发展方式已经不能适应时代发展的需要，为实现“双碳”目标，应加强对可再生能源的重视，持续优化和改进能源结构，促进我国可再生能源等重要战略性新兴产业的良好发展。

据估算，单长江口北段可建成 80 万千瓦的潮汐电站，年发电量达 23 亿千瓦时，与新安

江、富春江等地的总发电量相当；钱塘江河口可建设 500 万千瓦的潮汐电站，年发电量超过 180 亿千瓦时，是新安江水电站的 10 倍左右。应建立一个统一的能源机构占据战略制高点，来管理这些区域间的可再生能源，并在此基础上，提出国家海洋可再生能源的发展战略，研究制定海洋能发展的中长期发展战略和路线图，尽快出台海洋能发展专项规划，明确能源开发的阶段性目标，强化海洋能源发展的顶层设计，避免重复投资和产业同构造成的恶性竞争、资源浪费和环境损害，使沿海可再生资源得到有序的开发和利用，从而达到开发和保护海洋资源的目的。

可持续发展是国家长期发展的一项战略性选择，在“双碳”背景下，如何促进我国海洋可再生能源的产业化发展是当前阶段需要重点解决的问题。近年来，各沿海国家都在制定和执行海洋发展的策略与计划，将海洋能源列入国家海洋发展的重大任务之中。根据国家稳增长、调结构、惠民生的总体要求，要以海洋能专项基金作为支撑，确保东部区域的能源供应，进一步加强海洋能源的开发利用效率，做好海洋能源利用战略布局，为我国沿海地区的工业和经济发展作出重要贡献。（赵媛 王海峰）

解锁海洋能源这个宝藏

经济日报 2023.2.9

当前，我国在海上风电、海上油气资源方面已实现了大规模开发，但对庞大海洋能的“挖掘”才刚刚起步。我国海洋能资源丰富，市场空间大，具备打造海洋能大国的条件和优势。

随着技术进步，海洋能源的宝藏正缓缓打开。近日，由南方电网广东电网牵头研制的世界首台兆瓦级漂浮式波浪能发电装置正式开展下水调试工作，重量超过 4000 吨的庞然大物成功实现水上“漂浮”，标志着兆瓦级波浪能发电技术从理论研究正式迈入工程实践的新阶段，也意味着我国在能源绿色低碳转型方面又多了一种潜在选择。

作为一种少见的“冷门”能源，波浪能有什么超能力？看过海浪冲击海岸场景的人都知道，波浪里蕴含着大量的能量。它们可以将峭壁削成碎石，可以撞毁大型船只，在一米长的波峰上就具有超过 3000 千瓦的能量。波浪能发电技术可以利用波浪上下运动的势能以及往复运动的冲击力驱动发电机发电。据计算，全球海洋的波浪能达 700 亿千瓦，可供开发利用的为 20 亿至 30 亿千瓦，相当于上百个三峡水电站。

对于远海岛礁、海洋牧场等大电网难以接入的地区，波浪能具有不可替代的优势。以此次下水调试的发电装置为例，其整体转换效率可达 22%，在满负荷条件下，该装置每天可产生 2.4 万千瓦时电，大约能够为 3500 户家庭提供绿色电力，相当于为远海岛礁增加了一个大型“移动充电宝”。

但驯服这种能源不是易事，其主要障碍在于：第一，波浪力是波动起伏的，如何有效利用提高转换效率是个难题；第二，波涛汹涌的环境具有破坏性，要设计一套能承受住日常海

上风暴且还能可靠发电的装置很困难。因此，全球波浪能利用整体仍处于工程样机测试阶段，距离商业化应用还有一定距离。

海洋是一种非常高能的环境，除了波浪能外，海洋能源大家族还有不少成员。狭义的海洋能源称为海洋能，仅与海水有关，目前主流海洋能利用方式有五种，其中，潮汐能已实现商业化应用；潮流能、波浪能分别进入商业化运行前期和工程样机实海况测试阶段；温差能、盐差能也已分别处于比例样机测试和实验室验证阶段。

广义的海洋能源还包括海上的风能、太阳能、海上油气资源等，这些在陆地上同样存在。我国海上风能资源丰富，海上风电累计和新增装机容量均位居全球首位，海上风电产业初步形成了环渤海、长三角、珠三角等产业集群。未来，海上风能在沿海省份的发电量占比有望从目前的2%提升至2050年的近20%。海上油气方面，2022年，全球海洋油气勘探开发投资大幅增长，我国海洋油气产量再创新高，海洋石油贡献了全国石油增产量的一半以上。海洋油气资源将成为重要资源接替区，有力保障我国油气安全。

在加快推动能源结构调整优化的过程中，海洋能源发展将成为统筹能源安全与转型的关键增量。随着全球能源加速向绿色低碳转型，海洋能因其储量巨大、资源分布广泛、不占用土地空间、绿色清洁等优势，成为国际能源领域研究开发的热点和前沿。我国海域面积大，拥有漫长的海岸线和数量众多的海岛，蕴藏着丰富的海洋能资源，能量密度位居世界前列，具备规模化开发利用的有利条件。作为未来发展的战略性储备技术，推进海洋能稳步开发有利于推动我国经济社会可持续发展，如期实现“双碳”目标。

当前，我国在海上风电、海上油气资源方面已实现了大规模开发，但对蕴含在潮汐、波浪中的庞大海洋能的“挖掘”才刚刚起步。尤其在海洋能领域的基础研究相对薄弱，许多关键技术仍处于“跟跑”状态，与世界先进水平存在一定差距。海洋能产业缺乏激励政策和中长期规划目标，尚未在上网电价、电价补贴等方面出台相关扶持政策，相关企业对海洋能技术成果转化的动力不足，海洋能产业链尚不完善。

从长远看，我国海洋能资源丰富，市场空间大，具备打造海洋能大国的条件和优势。《“十四五”可再生能源发展规划》明确，稳妥推进海洋能示范化开发。下一步，应适时制定国家级海洋能发展规划，明确发展目标、路线图和时间表，给出稳定的政策导向和投资导向，建立完善成本与价格分摊机制，制定合理的电价及补贴标准，引导和扶持能源企业加大海洋能投资，形成海洋能应用新业态和新场景。加强与发达国家的技术研发、转让和能力建设等合作，加速推动我国海洋能技术和产业实现跨越式发展。（王轶辰）

为海底管道精准“把脉”

中国自然资源报 2023.2.9

本报讯 近日，浙江大学海洋工程与技术研究所里，所长陈家旺教授领衔的海底勘探技术团队正就册镇海底管道安全隐患治理二期项目的总体方案设计进行热烈讨论。该团队正在

开展的管道无人及载人多元修复系统研究，可为海底管道“把脉开方”。

海底管道作为海上油气运输的重要基础设施，受洋流冲刷、海床运动和第三方活动等外部因素的影响，容易出现悬空、扭曲、行走等位移现象，影响海底管道的安全性。册镇海底管道作为东海重要的输油管道，在经历多年的往复流冲刷、海水长期腐蚀、海床液化沉陷等因素影响后，管道在个别点形成了严重的变形缺陷。

2022年6月，受国家管网集团东部原油储运有限公司委托，浙江大学海底勘探技术团队开展了“依附于海底管道的干式舱高精度激光三维扫描海管外形测绘工装”和“册镇海底管道位移监测装备”课题研究。在已经完成的一期项目中，团队攻克多项技术难题，形成了国内首个高浊度海域的海底管道干式舱精准测绘技术体系和海底管道位移实时在线监测及预警系统，并成功通过“中油海101”号多用途铺管船完成工程应用。目前，该团队正进一步开展基于干式舱技术的管道无人及载人多元修复系统研究。

陈家旺介绍，二期项目中团队将开展新设计柔性主动密封、介质置换、大载重海底姿态调节等技术攻关，研制基于干式舱的模块化多种检测与修复作业工具，形成基于海底管道干式舱的多元检测修复系统后开展应用研究。目前，已经完成了干式舱及外部固定工装、三维激光扫描测绘、复合材料缠绕修复等近10个方案的设计。下阶段，团队将重点针对海底管道修复开展载人方案技术攻关，以实现载人和高度自动化作业双轨并存的海底管道修复，切实保障好海底管道的安全稳定运营。（高楚清 林渊）

我国新一代漂流浮标“浮出海面”

成本仅为国际通用观测设备的百分之十

中国自然资源报 2023.2.13

本报讯 在联合国“海洋十年”海洋与气候无缝预测（OSF）大科学计划支持下，自然资源部第一海洋研究所（简称海洋一所）科研团队研制出新一代全球导航卫星系统（GNSS）海洋表层漂流浮标，为大幅提升海洋观测和监测能力提供了契机。2月2日，这一海洋技术重要突破在联合国“海洋十年”官网推介。

据 OSF 项目首席科学家、海洋一所乔方利研究员介绍，团队自主研发的新一代 GNSS 表层漂流浮标，具有低成本、高精度、智能型等特点，可以精准获取浮标的空间位置、时间、波高、周期、波向、表层流速、表层流向、表层海洋温度、表层海洋盐度、大气水汽含量等 10 个参数。

截至目前，该团队已开展了十余次现场观测实验，并与目前通用的海洋经典观测设备进行了多次比对。结果显示，该浮标的观测精度与精密测浪设备如“波浪骑士”的差别仅为厘米量级，但观测成本却大幅降低，新一代 GNSS 浮标的成本只有国际通用观测设备的 10%。

观测成本是阻碍全球海洋观测系统发展的一个重要因素。自 2016 年开始，乔方利团队

通过海洋多学科深度合作，攻克了浮标硬件设计和数据处理系列关键技术，在降低成本方面取得技术创新，意义重大。目前，在 OSF 大科学计划支持下，海洋一所团队研发了多个型号的 GNSS 浮标，可根据客观需求（如大浪区、内波、海洋灾害等）随时自主加密观测。该浮标的推广应用对于深化海洋过程的科学认知，提高对海洋和气候的精准预测预报能力具有重要价值。（齐敏）

海洋热浪发生机制研究获新进展

中国自然资源报 2023.2.8

本报讯 近日，卫星海洋环境动力学国家重点实验室王云涛研究员团队及合作者在海洋热浪发生机制领域取得新进展，该成果以论文形式在《自然》合作期刊《气候与大气科学》上发表。研究结合多源观测与海气耦合模式，探究了海洋与大气过程共同作用下，2013/2014 冬季东北太平洋强热浪事件的形成机制。

海洋热浪表示一种海水异常增温事件，其持续时间可从几周到几年不等。这种异常增温事件对海洋生态系统以及渔业经济等具有重要影响。

2013/2014 年冬季，东北太平洋发生了一次前所未有的、强度巨大的海洋热浪。以往研究认为，研究区域上空的阿留申低压减弱，导致风速减弱，引起了海气热通量异常，是驱动此次海洋热浪形成的主要原因。本研究在前人基础上结合多源观测资料和模型，揭示除风速减弱有利于热浪形成外，风向异常所引起的海气热通量异常，同样在海水异常增暖中发挥了重要的作用，从而驱动了热浪的生成。

在气候变化的影响下，海洋温度持续上升，海洋热浪的发生频率增加、持续时间增长。从 1925 年至 2016 年，海洋热浪事件发生频率和持续时间分别增加了 34% 和 17%，从而导致全球海洋热浪天数增加达 50%，这种变化预计未来也会愈加显著。因此，加深对海洋热浪事件的理解，对于在全球变暖的情况下指导海洋生态环境保护、渔业栖息地和水产养殖区域养护等具有至关重要的作用。

该研究得到国家自然科学基金、自然资源部第二海洋研究所青年英才计划和科技部重点研发计划的资助。

论文的第一作者为卫星海洋环境动力学国家重点实验室与浙江大学联合培养的博士研究生陈焕焕。（宋蕊）

木卫二上可能存在新型咸冰

科技日报 2023.2.23

科技日报北京 2 月 22 日电（记者张佳欣）木卫二（欧罗巴）表面纵横交错的红色条纹十分醒目。科学家怀疑它是水和盐的冷冻混合物，但其化学特征很神秘，因为它与地球上的任何已知物质都不相符。现在，美国华盛顿大学领导的团队或已解决了这一难题：神秘红色

条纹可能是一种新型咸冰。该发现不仅对行星科学具有重要意义，而且对物理化学甚至能源研究都具有重要意义。相关论文发表在 20 日《美国国家科学院院刊》上。

长期以来，木卫二因其厚厚的冰壳下有一片次表层海洋而备受关注。根据科学家的说法，木卫二这样的海洋世界是寻找地球外生命证据的最佳选择。团队发现，新型固体晶体是水和食盐在寒冷和高压条件下结合时形成的。在低温下，水和盐结合在一起形成一个坚硬的盐渍冰晶格（水合物），通过氢键固定在适当的位置。

研究人员通过在两颗钻石之间压缩少量盐水进行实验，每颗钻石的大小都与一粒沙子差不多。水在相当于标准大气压 2.5 万倍的压力水平下被挤压。这是研究人员发现的晶体结构多样性的主要方式。

在实验室创造出的这种寒冷、高压的条件，在木星的卫星上十分常见，科学家们认为那里的冰层厚达 5—10 公里，覆盖的海洋厚度可达数百公里，底部可能会有更密集的冰。

研究人员表示，除了地球以外，只有这些行星体内的液态水在地质时间尺度上是稳定的，这对生命的出现和发展至关重要，它们是太阳系中发现地外生命的最佳地点。

八、氢能

高制取成本掣肘绿氢发展

中国能源报 2023.2.6

核心阅读

发展绿氢对保障能源安全、推动能源转型具有重要意义。但目前制取成本偏高成为绿氢产业规模化发展的主要障碍。要提高绿氢经济性，打破单一的技术路线、做好顶层设计、健全市场机制缺一不可。

地方两会近期密集召开，记者梳理发现，氢能布局成热点。例如，山东统筹布局氢能供应体系，开展副产氢纯化、电解水制氢等项目；辽宁加速风电、光伏、核电等可再生能源“零碳”电解水制氢等重大项目落地；吉林、内蒙古也在布局风光制氢一体化项目。不仅如此，国家相关部门也将支持氢能发展作为重点，1月17日，工信部等六部门发布的《关于推动能源电子产业发展的指导意见》就提出加快高效制氢技术攻关。

业内专家表示，可再生能源制氢将在未来能源体系中发挥重要作用。但制取成本偏高这一难题仍待顶层设计及技术攻关等多方面突破。

■发展绿氢意义重大

据业内专家分析，目前多国已把氢能产业作为未来的发展重点，产业发展潜力巨大。

据中国氢能产业联盟预测，到 2030 年碳达峰期间，我国氢气的年需求量将达到约 4000 万吨，在终端能源消费中占比约 5%，其中可再生氢供给可达约 770 万吨。在 2060 年碳中和情境下，氢气的年需求量将增至 1.3 亿吨左右，在终端能源消费中的占比约为 20%，其中 70% 为可再生能源制氢。

近年来，关于可再生能源制氢的政策支持与实践探索也明显加速。2022年3月，国家发改委、国家能源局联合印发《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，明确氢能是我国未来国家能源体系的重要组成部分，并提出要构建清洁化、低碳化、低成本的多元制氢体系，重点发展可再生能源制氢，严格控制化石能源制氢。

此后，湖北武汉、山东、上海、广东等地陆续发布相关政策，支持非化工园区的可再生能源制氢、风光制氢一体化项目发展。

对此，佛山环境与能源研究院院长赵吉诗指出，通过可再生能源产生的绿电，进一步电解水制氢得到绿氢能够助力新型电力系统的实现。“新型电力系统的核心诉求是可再生能源装机容量的大幅提升，这必然对储能有一定的需求，而电化学储能安全性和储能周期上均有一定限制。电解水制氢后可通过掺氢天然气借助天然气管网实现长周期、大规模储能。”

中国电科院战略中心主任闫华光指出，“目前，世界上的主要国家都把氢能作为能源转型的选择之一。发展氢能可减轻对石油、天然气的依赖，可再生能源制氢是保障能源安全和能源战略储备的一种重要方式。同时，绿氢将促进全社会深度脱碳。另外，电制氢设备本身就是很灵活的调节资源，可以参与电网的各种调峰调频辅助服务，提升电网的灵活性和安全性。”

■制取成本偏高成拦路虎

不过，国内某大型能源企业的一位氢能技术人员告诉记者，当前我国大规模低成本绿氢技术路线尚不明确，质子交换膜制氢成本较高，碱性电解水制氢缺少规模化应用，阴离子交换膜、固体氧化物电解水、光解水制氢、热化学循环水解制氢技术还处于基础研发阶段，可再生能源制氢尚未规模化发展。与此同时，风、光电力的间歇性和波动性也对绿氢的制取带来挑战。

“可再生能源的波动性会对电制氢装备的寿命产生影响。同时，可再生能源的间歇性发电导致其利用小时较低，进而导致无法稳定制氢，对可再生能源制氢的经济性造成影响。”闫华光说。

赵吉诗则指出，目前可再生能源制氢最大的挑战在于成本过高。“虽然电解水制氢技术的产业化应用已经有几十年历史，但单槽制氢规模仍然很小，从每小时几十升到几百方，最大也不过四五百方，功率仅在2兆瓦左右。随着产业发展，为了降低成本，单槽制氢规模虽已快速增长到1000方/小时以上，在研装置甚至高达2000方/小时，但其配套产业链并没有相应跟上，对降低成本造成了阻碍。”

“此外，行业偏好碱性槽也是一个问题，碱性槽技术是最成熟的，成本也是最低的。但从长远来看，多种技术路线并行前进才能促进产业蓬勃发展。不同的场景需要有不同的技术路线来匹配。”赵吉诗表示，目前，质子交换膜电解水制氢、阴离子膜碱性电解水制氢等技术因其对电流波动信号响应时间可达毫秒级，更适合可再生能源制氢。“当然，一些电解水制氢装备企业也在传统碱性电解槽技术方面进一步创新，提高了其对电流波动的响应速

度。”

■技术、机制均待突破

针对可再生能源固有的波动性对制氢产生的成本和技术挑战，闫华光建议，可再生能源制氢要同新型电力系统建设结合起来，统筹考虑、协同规划顶层设计，而不是单一地考虑氢能制取，制氢与新型电力系统真正有机互动起来，才能发挥最大作用。“在碳中和终极目标下，电力系统是零碳的，氢能与新型电力系统协同发展、电氢协同的能源体系将成为新型能源体系的重要组成部分。”此外，加强技术攻关、降低制氢装置本身的成本同样重要。“制氢成本主要由电价成本、制氢装置成本及系统运维成本组成，因此，研发低成本、高效率、长寿命的电制氢装置也是解决可再生能源制氢成本痛点的途径之一。”

闫华光进一步指出，建设电氢耦合标准体系、打造典型示范工程进行技术路线验证也必不可少。“通过示范工程验证各种技术路线的效果，建立电氢耦合标准体系，促进工程标准化建设和规范化管理，为未来大规模推广做准备，是引领并促进氢能产业规模化和高质量发展的重要阶段。值得注意的是，这些示范工程需要设计不同场景和技术路线，许多应用层面的问题可以在打造典型示范工程的过程中得到解决。”

赵吉诗则建议关注质子交换膜电解水制氢、阴离子膜碱性电解水制氢等技术的国产化，并加强对氢能企业，特别是央企创新能力和创新产出的考核力度。

另有业内专家建议，要完善可再生能源制氢的市场化机制，健全覆盖氢储能参与电力辅助服务的价格机制，探索氢储能直接参与电力市场交易。（杨晓冉）

国内首个生物制氢发电一体化项目试运

中国电力报 2023.2.9

本报讯（记者 苏伟）国内首个生物制氢及发电一体化项目近日在黑龙江哈尔滨市平房污水处理厂完成入场安装、联调，启动试运行。

该项目包括制氢、提纯、加压、发电、交通场景应用、发酵液综合利用六大系统。其中，制氢环节以农业废弃秸秆、园林绿化废弃物、餐厨垃圾、高浓度有机废水等为发酵底物，以高效厌氧产氢菌种作为氢气生产者，在处理废弃物的同时回收大量的清洁能源氢，可以避免化石能源制氢过程中对环境的污染，从源头上控制二氧化碳排放。

据了解，该项目的生物制氢技术由哈尔滨工业大学任南琪院士团队发明，具有我国自主知识产权；该研究成果一直“领跑”国际生物制氢的发展并获得国家技术发明二等奖。项目的提纯、加压、发电等系统由氢蓝时代新能源科技有限公司设计并提供整套产品，其中燃料电池系统为氢蓝时代H系列氢储能发电系统产品。项目的生物制氢装备与配套系统集成由工大环境股份有限公司设计制造，完成技术成果的有形化、装备化、系统化、产业化。

“十四五”纲要提出后，国家持续推动产业结构和能源结构调整，其中氢能产业是新能源体系中最值得关注的领域。利用污水中的生物质制氢，可以将污水变废为宝，是比绿氢更

具有环保价值的“派生氢”。生物质制氢具有“原料来源广、反应温和、产率高、能耗低、环境友好、可再生”等优势，是最具潜力的可再生能源制氢方式之一，更是破解资源环境约束、推动经济结构转型升级、促进绿色低碳发展的重要抓手。

氢常温运输走向实用化

参考消息 2023.2.15

【《日本经济新闻》1月31日报道】题：氢常温运输实用化

ENEOS 控股公司或将于 2025 年度实现以油轮常温运输氢的技术实用化。生产氢与甲苯结合液体的实验设备将于 2 月启动运转。川崎重工业公司则将推进开发在超低温下运输氢的大型运输船。氢被视为有发展前景的新一代能源，各公司将加快确立低价且安全的氢运输技术。

1 月 30 日，ENEOS 宣布，将于 2 月在澳大利亚东部的布里斯班开始启动运转实验工厂，生产氢和甲苯相结合的甲基环己烷（MCH）。

ENEOS 在 MCH 制造技术方面处于世界领先地位。此次运行的电解装置为 150 千瓦，相当于此前实验所用装置规模的 150 倍。

传统上，为了生产 MCH，有必要利用合成装置让储存在罐中的氢与甲苯结合。ENEOS 新开发的电解装置将水和甲苯分别电解，无需通过氢即可生产 MCH。由于不需要氢罐和合成装置，预计成本可以大幅降低。

此外，通过由太阳能发电而来的电进行电解，在 MCH 的制造过程中不产生二氧化碳，从而可以提供绿色氢气。

ENEOS 将在今后八个月的实证实验中确认电解装置的运行和控制技术。到 2025 年度研制出 5000 千瓦级大型电解装置，并开始量产。生产量等将在今后确定。

MCH 可通过现有油轮运输，运输成本较低。ENEOS 的目标是使用新方法，到 2030 年将在日本的氢售价降至每公斤 330 日元（约合 2.5 美元）左右，低于政府 2021 年估算价的 30%。

除了 MCH 之外，还有多种候选技术可以在常温下运输氢。据说最接近实用化的方式是以氨的形式进行运输，在消费地生产氢。由于氨已被用作肥料，供应链已经确立，运输成本可以控制在较低水平。但是，氨毒性较高，难以处理，ENEOS 认为以 MCH 运输的方法会更普及，正加紧确立这项技术。

另一方面，液化氢运输技术的开发也取得进展。2022 年，川崎重工成为世界上第一家成功在海上运输液化氢的公司。其目标是到 21 世纪 20 年代实现大型运输船实用化，通过大规模运输大幅压缩成本。

为了使氢气保持液态，储罐内部必须保持 -253 摄氏度以下的超低温，运载船也需要大型设施。但是，与常温运输不同的是，无需在消费地从 MCH 或氨中提取氢气。川崎重工的

目标是在 2030 年前后将氢的国内售价降至每公斤 330 日元左右。

在海外，各公司正在竞相确立氢运输技术。特别是在欧洲，为了摆脱对俄罗斯的依赖，氢被定位为关键能源，推动实现氢常温运输的行动正在加快。

4 日，德国氢 LOHC 技术公司与荷兰皇家孚宝集团宣布，将成立合资企业从事氢气常温运输业务。两家公司计划在德国西部的多尔马根和荷兰的鹿特丹建设大型工厂，在那里提取从国外进口的氢气，用于工业和发电。

各公司竞相推进氢运输方法实用化，但现阶段还没有哪一种最受青睐。目前，很可能根据用途和地区不同而选择不同方法。为了实现脱碳社会，氢被计划用于发电、制铁和汽车燃料等广泛领域。

与氢能自给自足的美国和可以使用管道的欧洲不同，日本只能依靠船舶供应，运输技术的确立对于保持产业竞争力而言是不可或缺的。

【《日本经济新闻》1 月 31 日报道】题：亚洲对氢能源需求最大（记者松本史发自悉尼）

亚洲将成为世界上最大的氢能源消费地，由世界氢能源相关企业组成的“氢能协会”和美国麦肯锡公司发布的报告说，2050 年世界氢能衍生产品的需求为 6.6 亿吨。仅中国、日本、韩国、印度 4 个国家就占了全部需求的 40% 以上。

预计日本和韩国的大部分氢能需求将通过进口来获得满足。与生产国合作确立运输方式、完善供应链将成为课题。

澳大利亚正成为氢能源生产和出口枢纽。该国作为煤炭和天然气等化石燃料的最大出口国，着眼于向脱碳燃料的转变，于 2019 年制定了“国家氢能战略提出了在 2030 年前成为氢能主要出口的目标。

现已有数个在昆士兰州和塔斯马亚州等地建立氢能生产和出口基地的划，澳大利亚政府的投资额高达 5.25 澳元（约合 3.6 亿美元）。澳大利亚铁矿巨头福蒂斯库金属集团和石油天然气巨头伍德赛德能源集团也在澳国内推动生产氢能的计划。

氢氨一体化去年开始“发烧”

中国能源报 2023.2.6

2022 年，我国氢氨一体化相关项目超 20 个，总投资额近 1500 亿元，绿氨年产能超过 260 万吨。

近日，甘肃省科学技术厅公布了 2022 年第八批省级科技计划项目名单，正式批准兰石研究院建设新型氢（氨）储能技术研发中心，聚焦氢氨储能技术路线，攻关核心技术和关键装备，抢抓氢氨储能产业发展机遇。

近年来，氢氨融合技术路径渐受热捧，国内外氢氨融合产业项目布局逐渐加快。业内认为，氢能产业实现大规模应用需突破储运瓶颈，应结合我国能源及产业结构特点，发展成

熟、安全、高效的特色储运路线及配套产业链。氨作为零碳燃料和氢能载体，可解决氢能大规模储运难题，拓宽氢能产业应用场景。

■ ■ 项目数量显著增加

记者注意到，2022年前，我国氢氨一体化项目大多停留在高校研究、企业联盟和平台建立等科研方面，具体示范项目较少。如2021年12月13日，国家能源集团召开氢能氨能在煤炭运输产业技术研讨会，会议要求充分认识氢能、氨能在能源绿色低碳转型过程中的重要战略作用，做好应用场景开发和技术研发布局。

2022年开始，氢氨一体化项目显著增加。据统计，2022年全年，氢氨一体化相关项目至少有20个，总投资额近1500亿元，绿氨年产能超过260万吨。如2022年12月28日，中国能建氢能公司与吉林省松原市签署中能建松原氢能产业园（绿色氢氨一体化）项目投资框架协议，计划建设新能源发电制氢和绿氨合成氨一体化项目，年产绿色合成氨60万吨，配套建设年产50台套1000Nm³/h碱性电解水装备生产线和4座综合加能站。

今年1月16日，宁夏宝丰能源集团股份有限公司披露了其绿氢制绿氨及氨水制备项目环境影响评价公众参与第一次公示信息。该项目利用宁夏宝丰能源集团股份有限公司太阳能电解制氢储能及应用示范项目氢气和50万吨/年煤制烯烃项目空分装置氮气，建设年产10万吨/年合成氨、50万吨氨水生产线项目10万吨/年合成氨的产能。

厦门大学能源学院教授、氨燃料专家王兆林指出，氨作为高效储氢介质，具有高能量密度、易液化储运、安全性高和无碳排放等优势，既可以与氢能融合，解决氢能发展的重大瓶颈问题，也可以作为直接或者间接的无碳燃料应用，是实现零碳燃料的重要技术路线。

■ ■ 被视为最具潜力的氢储运方式

值得注意的是，在氢氨融合技术路径方面，我国已出台相关支持政策。在“双碳”目标及《“十四五”新型储能发展实施方案》等系列政策支持下，我国氢能发展迎来重要机遇期。

2022年4月，科技部发布《国家重点研发计划“先进结构与复合材料”等重点专项2022年度项目申报指南》，提出包括分布式氨分解制氢技术与灌装母站集成、氨燃料电池、掺氨清洁高效燃烧等与氨有关的技术；《“十四五”新型储能发展实施方案》提出，依托可再生能源制氢（氨）的氧（氨）储能等试点示范，将探索风光氢储等源网荷储一体化和多能互补的储能发展模式列入“十四五”新型储能区域示范。

政策鼓励背后，是氢能储运需求的持续增长。业界普遍认为，氢能应用场景广泛，除卡车、乘用车、自行车等道路交通外，未来还将向船舶、储能发电、热电联供等新兴细分领域拓展。业内人士指出，以船舶为例，氢燃料更适用于远距离重载船舶的应用，且氢燃料加注容量较大，以何种方式储氢是最关键的问题之一。在此情况下，用氢和氨做成合成氨进行储运和应用将成为更优的解决方式。

考克利尔能源亚太区总裁、考克利尔竞立（苏州）氢能科技有限公司总经理林立邦认

为，现阶段，国家鼓励就地消纳氢气，如新疆库车绿氢示范项目建成后，所产绿氢将替代塔河炼化天然气制氢。不过，随着氢能产业的发展，固态储氢、气态运氢成本仍居高不下，合成氨将成为未来平衡我国不同地区用氢需求的理想方式之一。“我国是氨生产大国，氨能源丰富，同时已拥有成熟的氨生产、运输、存储体系，氨还原氢的技术也很成熟，未来，氢氨结合将成为最具潜力的氢能储运方式。”

■ ■ 部分技术难点仍待突破

值得注意的是，目前多个国家已陆续启动氢氨能源示范项目。早在2021年，韩国便宣布将2022年作为氢气氨气发电元年，力求打造全球第一大氢气和氨气发电国。今年1月，日本政府宣布将制定新法支持氢能和氨能的普及。

在技术层面，记者了解到，氢氨融合技术路线需要在高性能低温低压合成氨和安全低温氨分解催化剂及反应器技术、“间歇性可再生能源制氢—低温低压合成氨”系统的动态集配及管控技术、安全低温氨制氢系统和氨燃料电池系统的高效集成及智控技术等方面持续攻关。

针对上述挑战，业内专家建议，应从国家层面完善相应的法律法规，引导全国各地结合地方优势布局氢氨一体化能源示范项目；同时，以氨为切入点之一，推进氢能产业发展，针对氨作为能源载体和燃料应用，在设备规范、认证认可、安全要求等方面推出共性标准及规范，进一步加强氢氨联动融合发展趋势。（仲蕊）

首个甲醇制氢加氢一体站来了

经济日报 2023.2.17

近日，我国首个甲醇制氢加氢一体站在大连建成投用。这是一个可以现场制氢的加氢站，每天可产出1000公斤99.999%高纯度氢气，比加氢站传统用氢方式可降低20%的成本。

专家表示，现场制氢解决了氢气储存和运输的难题，这一问题是制约氢能产业发展的关键环节。目前，我国加氢站主要依靠长管拖车运输，受设备影响，氢气运输能力低、成本高、装卸时间长且综合能效低。

甲醇制氢是工业制氢中较为成熟的技术路线。我国是世界上最大的甲醇生产国，占全球甲醇产能的60%。专家表示，甲醇来源丰富、成本低廉，常温常压下作为液体便于储存和运输。与工业制氢等其他制氢方式相比，甲醇制氢能耗低且成本较低。

2022年，国家发展改革委、国家能源局联合发布了《氢能产业发展中长期规划（2021—2035年）》，首次明确氢能是未来国家能源体系的重要组成部分，提出稳步推进氢能多元化示范应用，到2025年燃料电池车辆保有量约5万辆等目标。2020年在能源法征求意见稿中，首次将氢能纳入能源体系管理。《“十四五”现代能源体系规划》也把氢能和燃料电池技术列为能源技术装备的主攻方向和重点任务。

这些政策推动，使得我国氢能发展大步迈进。从中央企业来看，目前已有超过三分之一布局了包括制氢、储氢、加氢、用氢在内的全产业链，并取得了一批技术研发和示范应用成果。

目前，中国石化是国内最大的氢气生产企业，年生产氢气约 390 万吨。此前该企业发布了实施氢能中长期发展战略，提出加快打造中国第一氢能公司，力争成为世界领先的氢能公司的发展目标。可现场制氢的加氢站是中国石化在氢能领域的最新进展。

中国石化燃料油销售有限公司执行董事、党委书记杨军泽表示，制氢加氢一体站的正式运营，表明了分布式甲醇制氢是我国加氢站可持续发展的有效路径，将有助于降低氢气成本和加氢站的推广应用。

据悉，中国石化已建成 9 个氢燃料电池供氢中心，建设和运营加氢站数量居全球首位。同时，中国石化启动了我国首个万吨级光伏绿氢示范项目——中国石化新疆库车绿氢示范项目，这是全球在建的最大光伏绿氢生产项目，投产后年产绿氢可达 2 万吨。项目将新建装机容量 300 兆瓦、年均发电量 6.18 亿千瓦时光伏电站，年产能 2 万吨的电解水制氢厂等。（黄晓芳）

海水制氢技术渐行渐近

中国能源报 2023.2.20

近日，国内首例集滩涂光伏储能海水制氢一体化项目在大连正式开工。随着风电等可再生能源装机逐渐走向深远海，电力远距离输送损耗问题日益显现。近年来，越来越多的项目开始采用风电耦合海水制氢模式，实现由化石能源向绿色清洁能源转变，解决深远海新能源电力消纳难题。

业界普遍认为，虽然海水制氢这一技术路径极具前景，但现有电解水技术大都基于纯水，目前海水制氢在装备技术、降本路径等方面尚有诸多瓶颈，短期内将以试点示范为主。

■■项目陆续启动

近年来，风电融合发展成为主要理念，同时电解水制氢产业发展提速，海水制氢技术随之迎来发展机遇，国内企业加快在海水制氢领域的布局。

如 2022 年 11 月 15 日，图灵科创自主设计生产的小规模高效海水/碱水电解制氢设备首次亮相，该设备能够实现在海水中稳定高效工作，消除目前电解槽行业对纯水的高度依赖。同月，明阳集团东方 CZ9 海上风电场示范项目动工，将建设成面向无补贴时代“海上风电+海洋牧场+海水制氢”立体化海洋能源创新开发示范项目。

记者了解到，海水制氢可分为海水直接制氢和海水间接制氢两种不同的技术路线。目前国内外海水制氢示范项目中，大多采用将海水淡化电解制氢的间接制氢路线，海水直接制氢还处于实验室阶段。从国内进展来看，目前我国大多数海水制氢项目都是小规模试点，处于

拟建或在建阶段。

川财证券分析指出，可再生能源电解水制氢是构建高效无碳的能源结构体系的重要途径，海水制氢技术的成熟有助于实现稳定、规模化的海水制氢产能，有望显著降低绿氢生产成本，促进氢能行业不断向前发展。

“总体来看，海水制氢正在尝试从实验室迈向产业化道路。海上风电与海水淡化、氢能等多种能源综合利用融合发展，有助于实现海域利用效率和制氢规模化生产的双重提升，是电解水制氢产业的重要发展方向。”苏州希倍优氢能源科技有限公司总经理李留罐指出。

■■技术路径可行

一直以来，电解水制氢受技术、规模、成本等因素影响，其经济性难以与化石燃料制氢相竞争。“双碳”目标下，寻求可持续的发展方式已刻不容缓。

在李留罐看来：“海上风电+海水制氢”模式将是未来电解水制氢产业发展的重要方向之一。“数据显示，我国远海地区风能储量是近海的三到四倍以上，因此远海风电开发潜力巨大，但随着风力、光伏发电向深远海发展，单个电场的装机容量越来越大，远距离海上电缆的电容问题严重限制输电容量和距离，成本将相应大幅增长。因此，受制于海缆成本的提高导致远海输电成本的快速增加，目前我国深远海风电开发仍存阻力。”

相关数据显示，目前电压等级为220千伏的海缆每千米造价在400万元左右，在离岸70千米以上的海域，海缆在整体海上风电项目中的成本占比可能高达12%左右，远高于近海风场。

对此，李留罐认为，海上制氢平台可以解决深远海可再生电力消纳问题，随着风力发电向深远海发展，利用可再生电力就地制氢，或将成为未来深远海可再生能源的主要应用方式。“海上的可再生能源，如风能、光伏、潮汐能等由于波动性强、环境苛刻使得其利用率低，通过海上可再生能源进行电解海水制氢，不仅能廉价高效地制取绿氢，也可高效利用海上可再生能源。”

■■诸多挑战待克服

值得注意的是，虽然海水资源丰富，但海水的复杂成分将导致海水制氢面临诸多难题与挑战。

在李留罐看来，目前，海水直接制氢技术仍不算成熟。“海水的杂质非常多，对电解槽的电极是极大的考验，同时也对整个电解系统和控制也有较高要求，一旦电解槽出现电位差，产生的有毒氯气也将不利于绿氢生产安全。淡化提纯海水面临淡化提纯装置成本及电价成本等不确定因素，因此，短期内海水直接制氢技术将主要在实验室阶段，规模化生产还有很长的路要求。”

“事实上，对于绿氢生产而言，真正需要关注的是对大规模制氢技术、工艺流程、催化技术、输送消纳进行难点攻坚和优化，以满足未来未来亿吨级的氢气需求。”李留罐同时指

出，除设备技术等还需不断攻坚外，海水制氢应用端需求及政策支持也尤为关键，“随着终端应用场景的不断延伸，市场需求也将不断提升，利好海水制氢规模化发展；同时，希望政策层面能够出台一些支持电解水制氢生产的政策，如风电等可再生能源发出的电可直接用于制氢，电网端对过网费可做一定减免，以支持氢能制氢环节的发展。”

站在企业的角度，李留罐指出，相关氢能企业应积极参与、推动海水制氢相关试点示范项目的实践，慢慢摸索经验，在持续的技术升级优化过程中逐步走向成熟，并最终迎来大规模产业化应用，实现海水制氢产业良性循环发展。（仲蕊）

“空气制氢”技术加速落地

中国能源报 2023.2.19

瑞士洛桑联邦理工学院一化学科研团队日前发明了可以从空气中收集水并生产氢的技术设备，这是一种将半导体技术与新型电极相结合的系统，利用太阳能实现“空气制氢”，整个流程零排放。尽管关键材料和整体转换效率还有待进一步改进，但对于氢能闭环循环、高效转化的“制、储、运、用”全链条发展提供了新思路。

◆◆◆原型机可扩展且易于制造

洛桑联邦理工学院光电纳米材料分子工程实验室的化学工程师、首席研究员凯文·西沃拉领导的研究团队在国际期刊《先进材料》发表了研究成果，革新之处在于发明了一个新型气体扩散电极，这种电极透明、多孔且易导电，使得以太阳光为动力的技术能够将来自空气中的气态水转化为氢。

据了解，原型机的形状类似一片叶子，基底由毡制玻璃纤维组成的三维网格，其上涂了一层光收集半导体材料，因此有别于传统的对阳光不透明的电极层，这个“人造叶子”同时拥有半导体技术和新型电极的关键优势，透明性使其可以最大限度地暴露于阳光中，多孔性使其可以最大程度地与空气中的水接触。

西沃拉的研究团队建造了一个测试室，将“人造叶子”置于潮湿和充沛阳光之中，从空气和阳光中收集水生产氢气，相当于将阳光的能量以氢的形式储存起来。

西沃拉指出，这个新型气体扩散电极利用了光电化学电池（PEC）技术，其可制成直接储能的光电化学蓄电池，成为一种既能转换太阳光能又能进行能量储存的多途径转换太阳能的光电化学器件，而且半导体在电解液中界面液体结容易形成，可以广泛应用多晶、薄膜型半导体材料，因而具有制作工艺简便、价格低廉等特点。

目前来看，这个“人造叶子”是一个巧妙且简单的系统，可扩展且易于制备，但在实际应用中仍存在缺点，包括制造使用液体大面积 PEC 设备较为复杂。

◆◆◆植物光合作用触发灵感

据了解，西沃拉的研究团队是从植物的光合作用中获取的灵感，其在进行可再生燃料的研究中发现，利用 PEC 技术从液态水和阳光中产生氢，是一种很有前途的人工光合作用材

料。

新加坡国立大学教授汪磊指出，自然界的光合作用是万物生存的基石，人工光合作用的目标则是通过更简单的化学反应让太阳能或其他可持续能源以更快、更高效的方式转化成能量密度更高、应用更广泛的化学能源。也就是说，人工光合作用的终极目标就是直接利用太阳能，将水和二氧化碳转化产出液体燃料，同时确保成本经济性。

对此，西沃拉研究团队的成员之一、研究报告的主要撰写者玛丽娜·卡雷蒂表示：“实际上，我们开发原型机就面对了诸多挑战，包括必须为每一个步骤开发新的程序，但由于每一个步骤都相对简单且可扩展，这一科研成果仍然为更低的成本设计和制造更高效的人工光合作用设备指明了新方向。”

◆◆◆关键材料技术有待突破

不过，这个“空气制氢”的技术目前转换效率尚不确定，仍处于技术探索和经验积累阶段。因此，虽然原型设备和技术概念已经完成，但仍需要在关键材料方面实现进一步突破，才能具备推广价值和商业化落地。

据悉，原型机目前只能稳定工作大约一个小时，西沃拉的研究团队正在集中精力优化系统，包括完善纤维尺寸、改善孔径大小、测试半导体和膜材料等。

但即便如此，这个“空气制氢”概念仍然被视为绿色制氢技术的一个重要里程碑，因为只要在阳光充足、湿度足够的地方即可实现，甚至除了利用空气中的气态水，地下水、雨水、处理垃圾过程中得到的水都可以加以利用。该研究团队表示，实际上，如果不考虑成本和效率问题，即便是中学生也可以在室外完成这一制氢过程。目前的制氢技术会消耗大量能源，因此更绿色、更高效的制氢方式一直是业内追求的目标。成本方面，只有低于“灰氢”“蓝氢”“绿氢”的生产成本，才能凸显出“空气制氢”的商业价值。

英国物理学会杂志《物理世界》撰文称，瑞士化学科研团队提出的“空气制氢”技术一旦实现商业化推广，将在家庭供暖、汽车供电方面发挥关键作用。

“可持续的、低碳的社会，需要将可再生能源转化并储存为化学物质，以用作工业染料和原材料，我们的目标是寻求可实现商业化且具有经济竞争力的清洁能源生产方式。”西沃拉强调。（王林）

无需脱盐的海水制氢新法出现

朝真正可行的“绿氢”工业迈出关键一步

科技日报 2023.2.20

科技日报讯（记者刘霞）澳大利亚皇家墨尔本理工大学研究人员开发出一种新方法，可直接将海水分解成氢气和氧气，而无需脱盐。最新从海水中直接制取氢气的方法简单、可扩展，且比目前市场上的任何“绿氢”生产方法都更具成本效益。相关研究论文刊发于最近的《SMALL》杂志，朝真正可行的绿氢工业迈出了关键一步。

长期以来，氢气一直被视为清洁能源，是应对能源挑战的潜在解决方案，对制造业、航空业和航运业等难以脱碳的行业来说更是如此。但目前世界上几乎所有氢气都来自化石燃料，而获得这些氢气每年会产生约 8.3 亿吨二氧化碳，相当于英国和印度尼西亚的年排放量之和。由水裂解制成绿氢尽管不会排放二氧化碳，但成本高昂，仅占全球氢气总产量的 1%。

为制造绿氢，科学家一般会使用电解槽向水中输送电流，将其分解为氢和氧，电解槽目前会用到昂贵的催化剂，消耗大量能源和水：制造一公斤氢气大约需要 9 升水。另外，还会产生有毒物质氯。

为获得更具成本效益的绿氢，研究团队开发出了一种专门用于海水的特殊催化剂：多孔 N-NiMo₃P。这种新型催化剂使用时所需能量很少，且可在室温下使用。虽然此前已有科学家开发出用于海水裂解制氢的其他催化剂，但它们很复杂，难以规模化生产。研究团队此次通过一种简单的方法改变了催化剂的内部化学性质，使它们相对容易大规模生产。

研究人员表示，这项技术有望大幅降低电解槽的成本，且制造出的绿氢能满足澳大利亚政府的绿氢生产目标——每公斤 2 美元，从而使其比化石燃料制氢更具竞争力。

研究团队已为相关技术申请了专利，计划首先开发出一个电解槽原型，结合一系列催化剂来生产大量氢气。

新一代金属支撑固体氧化物燃料电池问世

创大功率 SOFC 热电联产系统效率全球最高纪录

科技日报 2023.2.20

科技日报讯（记者王延斌）2月18日，全球首款大功率金属支撑商业化 SOFC（固体氧化物燃料电池）产品在山东济南发布。该产品的热电联产效率高达 92.55%，创造了大功率 SOFC 热电联产系统效率全球最高纪录。该技术由国际权威检测机构 TÜV 南德的欧盟 CE 认证，由潍柴集团研发。

中国工程院院士、山东省科协主席凌文和中国工程院院士苏万华、中国科学院院士刘维民、中国科学技术大学党委书记舒歌群等专家现场见证发布。

SOFC 属于第三代燃料电池，据专家介绍，SOFC 是目前全球范围内发电效率最高的新能源技术路线，又分为电解质支撑、阳极支撑、金属支撑 3 种技术路线，而以金属支撑技术路线最为先进。金属支撑 SOFC 技术采用金属板作为支撑体，机械强度高，抗热冲击能力强，具有可靠性高、启动迅速、可启停次数多等优势，能够使用天然气、氢气、煤制气、生物质气、甲醇等多种燃料，使用天然气的 SOFC 相比传统天然气发电机组可减碳 30% 以上。

据了解，潍柴从 2018 年开始布局 SOFC 业务，已累计投入 20 亿元，以百名博士为主的研发团队经过 5 年努力最终实现了 SOFC 技术的工程化突破，并掌控了新一代 SOFC 核心技术。

本次发布的 SOFC 产品系统功率达到 120 千瓦，支持模块化安装，可将功率扩展至兆瓦级，其技术特点为：热电联产效率达到 92.55%，在大功率 SOFC 系统中是全球最高的；全球率先使用最先进的新一代金属支撑 SOFC 技术，相比于传统的电解质支撑和阳极支撑技术，具有运行温度低、抗热冲击能力强的突出优势，特别是实现了从高温 800 摄氏度到 600 摄氏度的技术突破，系统可启停次数和启动速度均大幅度领先于现有国际主流产品，实现了技术超越。

上述 SOFC 产品已在潍柴燃料电池产业园和山东省潍坊市能源集团落地，累计运行超过 3 万小时。潍坊市能源集团滨投分布式能源有限公司副总经理尹波表示，在实际使用中，这款产品运行稳定，净发电效率超过 60%，1 方天然气可以发 6 度电，并可根据峰谷电价进行调整、削峰填谷，经济效益好。

表面氢溢流原子可视化研究取得新进展

中国科学报 2023.2.14

本报讯（见习记者孙丹宁）近日，中科院大连化学物理研究所研究员傅强和慕仁涛团队在表面氢溢流原子可视化研究上取得进展。团队发现了氧化物表面结构对氢溢流的有效调控，并利用表面晶格限域效应提升了氢溢流速率。相关成果发表于《自然-通讯》。

氢活化和氢溢流是诸多涉氢反应的重要基元过程，对其进行有效调控是提高涉氢催化反应性能的关键。在前期研究中，团队通过构筑氧化物表界面活性中心调控氢气活化，利用氢溢流形成的表面氢物种提升反应选择性和催化剂稳定性，并通过氢溢流再生“Ni-O 路易斯酸碱对”活性中心实现水的有效活化。

该工作中，研究人员在 Pt (111) 衬底表面构建 MnO (001) 和 Mn₃O₄ (001) 单层结构。近常压扫描隧道显微镜原位成像显示，在 MnO (001) 表面氢物种沿着晶格条纹一维扩散，而在 Mn₃O₄ (001) 表面上呈现出二维扩散特征，并且在 MnO (001) 上的扩散速率是 Mn₃O₄ (001) 上的 4 倍。理论研究表明，氧化锰表面晶格中合适的氧-氧间距有利于氢扩散，而在低配位表面氧原子则抑制氢扩散。该研究工作揭示了氧化物表面晶格限域效应对氢溢流的促进作用。

清洁能源制绿氢 氢电耦合提效能

国家电网报 2023.2.21

2 月 14 日一早，在国家电网浙江丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程基地内，以生物天然气为燃料烹饪的早餐被端上餐桌，生物质堆场里的氢能叉车开始了一天的装卸工作……2022 年 10 月 31 日投运以来，该示范工程已产出生物天然气近 1000 立方米，产出氢气约 1 万立方米。基地的生产生活用能全部来自于此。

在“双碳”目标下，清洁低碳成为能源发展的主旋律。丽水缙云水光氢生物质近零碳

示范工程是丽水全域零碳能源互联网综合示范工程的重点场景之一，也是国家电网有限公司首批4个绿氢工程之一。该示范工程依托当地资源禀赋，构建“绿电-绿氢-生物质”等多种绿色能源一体化的能源综合利用系统，通过机制创新，唤醒沉睡资源、激活绿色潜质，打造了乡村场景下绿氢产制及跨界应用的氢电耦合示范样板。

深挖可再生能源资源绿氢发展有底气

2月7日，缙云县的茭白种植户李卫东早早赶到农田为春播做准备。“去年茭白卖了个好价钱，以前只能废弃焚烧的茭白秸秆也卖钱了。今年我打算扩大种植规模。”李卫东说。茭白秸秆能创收，正是因为有了丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程。这些废弃的秸秆被送到示范基地粉碎，再投入沼气发生装置就可以产制沼气。

丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程采用质子交换膜技术，利用小水电资源和分布式光伏发电设备制备零排放无污染的绿氢。这些绿氢一部分用来满足交通和工业用能需求，另一部分用来固定沼气中的二氧化碳，使沼气中的甲烷占比进一步提高，成为生物天然气并输送至周边客户使用，满足乡村的清洁用能需求。

缙云县有丰富的茭白秸秆、鸭粪等生物质资源。同时，九山半水半分田的地貌让区域内水能和太阳能资源丰富。丽水现有水电站800余座，装机容量占浙江水电总装机容量的46%。针对这些资源禀赋，丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程打造了包括水（光）电制氢、沼气加氢脱碳、建筑热电联供等模块在内的技术示范。

示范工程还配有储氢系统、甲烷化单元生物天然气系统、高温燃料电池系统及新能源汽车加氢系统，可促进富余水电就地消纳，提高厨余废弃物与沼气资源的循环利用效率，实现绿电制氢、沼气加氢制生物天然气、低压储氢、车网灵活联动。

加强核心技术研发绿氢应用更高效

1月31日，在丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程基地值班室，运维人员张宁结束了夜间值班，走进休息室准备洗漱。休息室中的热水不用电、不用气，而是利用热回收系统加热而来。

“目前，基地每周投放一次生物质资源。这些生物质资源以缙云县供电公司上湖基地食堂的厨余垃圾和从当地收集的农业废料为主，再按一定比例投入沼气发生装置。”张宁介绍。

生物质资源蜕变为清洁能源，关键在于利用好甲烷。甲烷是沼气和生物天然气中的主要有效物质。“以往利用生物质发酵产生的沼气中，甲烷的占比只有55%左右，其余大部分为二氧化碳。示范工程利用全国首台沼气+氢甲烷化设备，让氢气与沼气中的二氧化碳反应生成甲烷，将沼气中甲烷的提取量提高至95%以上，实现农村废弃生物质资源循环利用。”浙江电力科学研究院科技研发中心李志浩介绍。示范基地内的沼气发生装置每天可额定处理0.8吨废弃生物质资源，沼气产量可达每天60立方米，每月能够减少0.18吨二氧化碳排放。

甲烷化过程为强放热反应，通过余热回收系统，该过程释放的热量能够为民宿、酒店、基地等场所提供热水。同时，生物质原料发酵过程中产生的沼渣、沼液可作为有机肥，实现农村生物质资源循环利用。

“除了食宿，基地内氢能叉车的燃料也是氢气，我们已经提早过上了‘零碳’生活。”张宁说。基地有两台载重 3.5 吨的氢能叉车，相比燃油叉车，每台叉车每天可减少约 0.15 吨二氧化碳排放。

实现监控评估分析功能绿氢管理更精细

“氢电耦合能量管理系统启动完成，供能策略选择经济供能模式。”2月1日，丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程的基地运维人员打开氢电耦合能量管理系统，根据系统提供的计划曲线，从低碳供能、高效供能、经济供能、可靠供能4种模式中选择了合适的供能策略，一键启动氢能站设备。

2022年11月，氢电耦合能量管理系统在丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程基地上线运行。该系统兼备多元能源全景监控、能量管理、能效管控、运行评估、能流碳流分析等功能。

氢电耦合能量管理系统能够统计分析示范基地内能源数据、氢能利用数据和节能减排数据等，计算区域能源总体供给和消费情况，完成实时供需分析。该系统以预测负荷为基础，为能量管理策略提供依据。

此外，氢电耦合能量管理系统基于数据驱动与深度学习建立水电、负荷短期预测模型，结合气象参数、水电机外特性、水电功率、负荷功率分析，提供24小时至7天内粗粒度的水电与负荷预测功率，实现示范工程安全运行与综合能效最大化。

“丽水缙云水光氢生物质近零碳示范工程在实现农村地区可再生能源就地消纳的同时，兼顾农村废弃物循环利用，真正意义上做到了能源制、产、用全过程零碳。”国网浙江省电力有限公司科技部相关人员介绍，工程将推进农业绿色发展，促进我国可再生能源产业健康发展。

九、风能

“双头机”、“垂直轴”争奇斗艳

浮式海上风机不断涌现新样式

中国能源报 2023.2.6

近日，欧洲浮式海上风机生产商 SeaTwirl 公司宣布，其研发的垂直轴浮式风机获得挪威政府批准，可在挪威水深 50 米以上的深海区域开展浮式风电样机相关试验。这是全球首例可投入实际工业应用的垂直轴浮式风机案例，开创了垂直轴浮式风机应用先河。

实际上，在全球海上风电步入深远海的当下，浮式海上风机已不再局限于传统主流的单

个机组样式设计，风机平台设计的创新正为海上风能资源开发提供新的动力。

■ ■ 垂直轴风机受青睐

据 SeaTwirl 公司官方网站介绍，目前，浮式海上风电领域主流的风机大多使用的是水平轴转动发电方式，而此次获得下水试验批准的机型采取了圆环形状的风机叶片设计样式，用垂直轴转动的方式进行发电。此次计划投入试验的样机功率为 1 兆瓦，该公司称，未来将进一步加大浮式风电机组发电功率。

公开消息显示，SeaTwirl 公司于 2010 年进入垂直轴浮式风机研发领域，是目前少有的垂直轴浮式风机开发商。在该公司技术总监乔纳森·博思慕看来，与水平轴转动的浮式风机相比，以垂直轴转动的风机重心相对较低，发电设备距离海平面更近，不仅方便安装、维护，其稳定性也相对更高，更加适用于深远海区域。

不仅如此，英国曼彻斯特大学研究人员巴勃罗·欧罗也在一份研究中指出，在海上风电场中，垂直轴浮式风机受到的尾流干扰相对较少，这也意味着风机能够更好地捕获风能，有助于提高发电量。另据 SeaTwirl 公司测算，应用垂直轴浮式风机或可将浮式风电场的平准化度电成本降低 20% 左右。

近年来，全球海上风电装机量呈现爆发式增长，近海风能资源已得到了相对充分的开发，为获得更丰富的海上风能资源，深远海风电开发已势在必行。面对庞大的深远海风能资源储量，全球风电设备制造商都在摩拳擦掌，除了不断提高海上风机单机功率之外，更是在结构、设计上创新，推出了前所未有的样机设计。

■ ■ 浮式风机样式愈加丰富

除了环形垂直轴风机外，采用两台风机的“双头”浮式风机技术便是另一大范例。2020 年，欧洲浮式风机设计生产商 Hexicon 公司就宣布了“双头”浮式风机的开发计划。2022 年底，欧洲专利局确认授予该浮式平台技术专利。时至今日，该公司的旗舰产品 Twin-Wind 已获得了英国、意大利、韩国等多国的海上风电场订单，开始进入实际应用阶段。

Hexicon 公司首席执行官曾表示，该公司开发的浮式风电平台可提高特定水域的风机密度，有效降低了风机平台和海缆数量，能够更有效地实现电力生产并降低成本。

去年下半年，明阳智慧能源集团股份公司也面向全球发布了双转子浮式海上风电平台“OceanX”，该机组正是在浮式基座上搭载了两台单机功率为 8.3 兆瓦的机组，以“V 型”排列，将在今年下水安装。

不仅如此，在风机设计公司 WCS 看来，除了“双头”机，在漂浮式平台上排列数十乃至上百台风机一并进行发电的设计同样具有潜力。2021 年，该公司宣布与工程承包商 Aibel 公司合作研发多风机排列的浮式平台，利用大量风机形成超大阵列，远远看去俨然一面风帆。WCS 公司首席执行官表示，这一浮式风机设计方式与主流方式相比可降低 80% 的海上风电场使用面积，同时能够降低海上风电生产成本，提高浮式海上风电成本竞争力。

■ ■ 降本将成浮式风电发展关键

值得注意的是，从目前已经面世的各类浮式风机的创新设计来看，降本始终是样机设计绕不开的议题。业界普遍认为，随着全球海上风电开发步入水深超过 50 米的深远海区域，传统固定式海上风机经济性大幅下降，浮式平台已成为首选。然而，直至目前，浮式海上风电尚未进入商业化开发阶段，成本高企成为深远海风电开发的一大阻碍。

不过，全球风能理事会认为，随着多国浮式海上风电项目推进、技术不断创新，浮式海上风电产业距离商业化已经不远。该机构指出，英国、中国、挪威等国已新增了多个浮式海上风电项目，在各国浮式海上风电相关支持政策刺激下，2030 年前，全球浮式海上风电装机量有望达到 1890 万千瓦。而风机技术的创新、资本支出的提升、项目设计的改善等因素都将成为推动浮式风电降本的关键因素。2035 年至 2050 年期间，全球浮式海上风电度电成本降幅可达 17% 至 40%。

对于我国浮式海上风电产业来说，行业人士普遍认为，在海上风电供应链不断成熟的当下，浮式海上风电的降本速度或高于预期。市场研究机构平安证券在研报中表示，尽管成本依然较高、商业化尚需时日，但浮式海上风电具有较清晰的降本路径，包括风机单机容量进一步提升、规模效应带来的成本下降、浮式基础的优化设计等，国内供应链基础较好，未来有望实现快速降本。（李丽旻）

“仙女” 机器人借助风和光飞行

向人工授粉等现实应用迈出重要一步

科技日报 2023.2.1

科技日报北京 1 月 31 日电（实习记者张佳欣）刺激响应聚合物的发展为下一代小型无线控制软体机器人带来了大量新材料相关的创新。工程师们已使用这些材料制造可行走、游泳和跳跃的小型机器人。但此前，还没人能让它们飞起来。芬兰坦佩雷大学轻型机器人小组的研究人员提出了名为“仙女”的新设计——一种基于光响应材料组装的飞行机器人。这种聚合物组装机器人，能靠风飞行，并由光控制。

从蒲公英种子得到灵感，“仙女”具有多个仿生特征。由于其高孔隙率（0.95）和轻质（1.2 毫克）的结构，它很容易漂浮在有风的空中。更重要的是，稳定的分离涡环生成使长距离风力辅助飞行成为可能。

研究人员称，“仙女”可由光源供电和控制，比如激光束或 LED。这意味着光可用来改变微小的蒲公英种子状结构的形状，“仙女”可通过改变形状来适应风向和风力，光束可用来控制聚合物组件的起飞和着陆。

与自然界中的蒲公英种子相比，这种人造种子配备了一个柔性致动器。执行器是由光反应型液态结晶弹性体制成的，它在可见光的激发下诱导刷毛的打开或关闭。

研究人员接下来将专注于提高材料的灵敏度，使设备能够在阳光下运行。此外，他们还计划扩大该结构的规模，使其能够携带 GPS 和传感器等微电子设备及生化化合物。

研究人员称，这听起来像是科幻小说，但概念验证实验表明，新开发的机器人向适合人工授粉的现实应用迈出了重要的一步。在未来，数以百万计的携带花粉的人造蒲公英种子可被自然风自由驱散，然后在光线的指引下前往特定地区，那里有等待授粉的树木。

研究人员说，这将对全球农业产生巨大影响，因为全球变暖导致的传粉媒介丧失已构成对生物多样性和粮食生产的严重威胁。

安抚电压突变“情绪”，让风电不再“靠天吃饭”

科技日报 2023.2.9

“未进行高低电压穿越技术改造前，电网电压一旦过压，就会报故障，影响输电。”2月6日，在河北省围场满族蒙古族自治县东润风电场，场长王传业看着外面呼呼刮着的4级大风，终于不再揪心。他说，改造后风电机组具备高电压穿越的能力，确保在复杂电网环境中也能稳定运行。

给王传业吃下“定心丸”的是中国民航大学科技园孵化企业——天津航大世达航空技术有限公司（以下简称航大世达）的“高电压穿越技术改进、技术测试及风机建模”项目，该项目在2022年北京冬奥会时曾成功应用于张北县耿家地风电场，如今已解决了更多电场风电“靠天吃饭”的难题。

提升风电高电压穿越能力

2022年，北京冬奥会圆满举行，并首次实现奥运历史上全部场馆的绿色电力供应。2020年6月，张北柔直工程投入运行，实现张家口地区上百家风电场、数千家光伏电站成功“上网”，为冬奥会提供清洁能源，位于张北县的耿家地风电场便是其中之一。

此时一个难题摆在了大家面前。由于风力的不稳定性，风电机组经常面临电压突变的考验，导致风电场风机整体解列，电网电压波动，从而影响电网的稳定运行，严重时甚至会导致风电机组停止运行。

“当电网电压发生故障骤升时，如果不加以控制，可能会造成变流器和风电机组的损坏，也可能对电网产生功率冲击，造成电力系统的暂态不稳定，严重时可能导致局部甚至系统瘫痪。”航大世达技术总工冯林威介绍，并网型风力发电机组的故障穿越能力十分重要。当电网故障或者扰动引起风电场并网点的电压升高时，风电机组能够不间断的并网运行，在必要的时候还需要对电网提供无功功率的支撑，完成电网电压骤升到恢复正常过程的故障穿越。

为此，耿家地风电场经过调研，选定航大世达作为技术开发单位，承担风电场的技术改进，为风电机组加装保护装置，确保设备满足国标。

推广至国内其他风电场应用

为确保项目高质量交付，立项后，航大世达技术团队立刻前往张北县，在风电场驻场3个月，从设备技术改进和性能验证两方面开展工作。

第一步就是根据技改方案进行风电场设备的改进，升级变流器的 Crowbar 组件、4U 控制器程序及主控程序，从而实现机组的高电压穿越功能，使老旧机组具备高电压穿越的能力，确保机组在复杂电网环境中的运行稳定性。

“实际运行的风电场中，很多因素可能导致电网电压的骤升。”冯林威举例，比如单相接地故障、风电场负载的突然切除、大的电容补偿器的投入等。直驱风电变流器的网侧直接与电网相连，当电网电压骤升时，电网侧功率无法送出，功率由电网侧流入变流器，导致直流母线电压快速升高，变流器故障停机，严重情况下可能因为过电压毁坏功率器件。在完成电网电压骤升到恢复正常过程的故障穿越之后，有功功率和直流母线电压由于电网电动势不平衡会造成波动，但是现有技术中并没有有效地防止此类波动的措施。因此风电变流器具备高电压穿越功能是保证风电机组稳定运行的必要措施。

完成硬件设备的改进后，技术团队又进一步对改进后的性能进行验证。“我们把核心控制器通过电缆与仿真机连接，由上位机运行自主搭建的 1.5MW 双馈变流器模型，进行半实物仿真并采集高电压穿越过程中的各项波形数据。”冯林威介绍，然后再将采集到的数据与电力系统全数字仿真装置（ADPSS）建模仿真数据进行比对，同时与现场实际高压穿越测试数据进行比对。根据国标要求，建模数据应与现场实测数据相吻合，以验证现场测试的准确性。

经过 3 个月的驻场研发和实测验证，公司在中国民航大学电子信息与自动化学院科研团队的支持下，圆满完成了技改项目，风电机组各项技术指标均符合冬奥会电网保障要求，在冬奥会正式开始前机组全部投入正常运行。

据悉，“高电压穿越技术改进、技术测试及风机建模”项目已得到中国合格评定国家认可委员会（CNAS）高电压穿越能力验证，正在推广至国内其他风电场应用。

“作为中航大科技园孵化企业，公司将在现有技术基础上大力发展储能技术，深耕风电技术保障领域，努力成为新能源产业链的重要一环。”冯林威表示，公司还将加大力度与中国民航大学开展技术对接，在机场光伏应用、新能源电力储备等领域开展技术推广，服务民航新能源替代，助力中国民航绿色可持续发展。（陈曦）

全国首个批量化大容量海上风电机组项目开工

人民日报 2023.2.7

本报福州 2 月 6 日电（记者刘晓宇）日前，福建漳浦六鳌海上风电场二期项目开工建设。这是全国首个批量化采用 16 兆瓦及以上大容量海上风电机组的项目。

风电场位于漳浦县东南侧海域，中心距离海岸线 32.8 公里，场址面积约 22.9 平方公里，总装机容量达 400 兆瓦。

三峡集团漳浦海峡公司副总经理龚匡敏说，目前，我国海上风电场通常采用单机容量为 10 兆瓦以下的机型。漳浦二期项目将首次批量化使用超大单机容量机组，风机的单机容量

越大，发电效率更高，海域占用面积也会减少，开发和运维的成本也会相应降低。

项目计划于今年8月底完成首批机组并网发电，全部投产后年上网电量超过16亿千瓦时。

近年来，我国海上风电快速发展，装机规模继续保持世界第一。随着海上风电项目布局的加快和对海域环境的不断探索，海上风电产业逐渐向大功率、深远海挺进，已形成了完整的具有领先水平和全球竞争力的风电产业链和供应链。目前全球市场上60%的风电设备都来自中国。

全球最大 10 兆瓦陆上风机发布

中国电力报 2023.2.15

本报讯（记者 邱燕超）2月8日，远景能源有限公司（以下简称“远景能源”）发布该公司最新产品——全球陆上最大兆瓦风机 EN-220/10 兆瓦，其单机容量和叶轮直径达到目前全球最大水平，预计今年8月开始交付。

据悉，该机型专为新疆及三北中高风速区域和沙漠、戈壁、荒漠地区场景设计，目前已获得权威检测认证机构鉴衡颁发的认证证书。以技术创新带动经济性和安全性全面升级，远景此次发布的 EN-220/10 兆瓦风机机组与 EN-171/6.7 兆瓦风机机组相比，单位千瓦扫风面积提升11%，综合轮毂中心高度及尾流影响，单位千瓦发电量可提升8%。

“这款机型顺应风机平价时代大型化的趋势，基于远景独有的研发和测试验证体系，通过数字化、智能化赋能该机组自研部件的系统化集成，必将为行业发展特别是‘沙戈荒’大基地建设和三北中高风速地区的风电产业发展提供重要支撑。”鉴衡认证中心总工程师杜广平认为。

据悉，针对“沙戈荒”大基地项目昼夜温差大、多沙、超极限风等严苛自然环境挑战，EN-220/10 兆瓦采用抗脏污与风沙高性能第4代翼型、多级自清洁过滤系统和高性能保护漆加强保护叶片前缘等定制化设计，依托伽利略平台对风沙状况实时监测预警，可有效保障风机的运行效率。

“海洋地质二号” 船创新海底作业新模式

实现钻探取心与温度测量同步进行

中国自然资源报 2023.2.20

本报讯 近日，中国地质调查局广州海洋地质调查局“海洋地质二号”船团队创新性地将中国地质调查局首套200米海底保压钻机拓展了地温测量功能、并成功应用于天然气水合物资源勘查，开创了大孔深海底钻机与温度测量仪联合作业模式。

据介绍，该团队根据海底钻机的作业特点，专门设计了一款可搭载FY-2型温度测量

仪的工具，成功开发了钻探取心和地层原位温度测量这两种模式在作业过程中的可切换功能。该作业模式可连续稳定工作 65 小时以上，能进行 200 米全孔深任意层位的原位高精度温度测量。在南海天然气水合物分布赋存区，该团队利用该项创新技术对天然气水合物上覆地层和天然气水合物储层的钻探取心与原位温度测量，从 19 米至 203.5 米的不同设计层位获取了共计 720 个地温数据。获取的高精度数据和样品为天然气水合物稳定带和储层评价等研究提供了有力支撑，对揭示天然气水合物成藏的控制机制和作用具有重要意义。

此项技术创新实现了钻进取心与温度测量功能高度集成于海底钻机上又不互相干扰，为 FY-2 型温度测量仪提供了一种全新的作业模式，也充分表明 200 米海底保压钻机的功能具有很大拓展空间。下一步，团队将继续加强研究，在海底钻机作业模式上不断创新，大力推进高水平海洋科技自立自强。（吴泽彬 张会寅）

日本启动大规模海上风力发电

参考消息 2023.2.25

【《日本经济新闻》2月20日报道】题：国内海上风力发电终于启动

日本启动大规模海上风力发电。丸红主导的海上风力发电站继在能代港（位于秋田县能代市）开始运行之后，在秋田港（位于秋田市）也于1月底启动商业运营。海上风力发电是脱碳的王牌手段之一，而日本开始采用海上风力发电的时间比欧洲国家晚，截至2020年的发电成本为每千瓦时约30日元，是世界标准的近3倍。日本政府提出到2035年将发电成本降到每千瓦时8至9日元的目标，但专业人才短缺和国内监管环境是降低成本的障碍因素。

秋田港海面耸立的约150米高的13架风车已启动运转。负责运营的是以丸红为第一股东的克斯莫能源控股公司等参与的秋田洋上风力发电公司（AOW）。包括2022年12月启动运转的能代港22架风车在内，已有30多架海上风车在秋田县内开始商业运转。总项目费约为1000亿日元，装机容量合计约14万千瓦，可满足约13万户家庭用电。

以秋田为开端，今后将在全国4个港口启动运行50万千瓦以上的海上风力发电项目。可再生能源开发公司绿色电力投资公司（位于东京都港区）等将于2023年底前在石狩湾新港（位于北海道石狩市）让约11万千瓦的海上风力发电站启动运转。

此外，近海“一般海域”也在推进风电开发。2021年12月，在秋田县和千叶县近海等三个海域，以三菱商事为首的企业联盟在项目招商中竞标成功。2028年至2030年，合计约170万千瓦的海上风力发电项目将启动运转。

日本的海上风力发电终于正式启动，但与欧洲等发达国家相比还有很大差距。在欧盟，海上风力发电站的建设从2010年左右开始扩大，截至2021年已有1460万千瓦的海上风力发电项目投入运营。

日本普及海上风力发电面临的最大课题是发电成本。据经济产业省统计，截至2020年，

新建海上风力发电站的建设和运营成本约为每千瓦时 30 日元，之后也似乎并未大幅下降。

政府在 2020 年发表了“第一次海上风电产业愿景”，目标是在 2030 年至 2035 年使发电成本达到每千瓦时 8 至 9 日元。

据彭博新能源财经报道，在欧洲和中国等风力发电发达地区的推动下，截至 2022 年上半年，全球海上风力发电成本为每千瓦时 0.086 美元（约合 11 日元）；自 2019 年以来，一直保持在 0.1 美元以下的水平，是日本成本的三分之一。

日本海上风力发电成本高的原因之一是缺乏具有专业技能的人才。在日本，具有施工经验的工程师很少，在秋田县沿海项目中，在施工过程中从欧洲等海外招聘了各工程项目的管理人员。

另一个原因是开发规模。在 2021 年的项目公开招商中，三菱商事带领的企业联盟中标。总发电能力将在 170 万千瓦左右，但具体分配到各个海域，则为数十万千瓦。与欧洲相比规模有限，欧洲有实现在一个海域发电能力超过 100 万千瓦的计划。

在日本，还存在其他方面的限制。实施发电项目需要进行环境影响评估，包括调查期在内，大约需要八年时间才能启动运转。在欧洲等地则据说需要四到五年。如果开发周期长，则难以预测建设成本上升等外部因素的变化。

2020 年，欧盟制定了到 2030 年海上风力发电能力达到 6000 万千瓦以上的目标，约是目前水平的四倍。日本在其海上风电产业愿景中也提出目标，力争到 2030 年海上风力发电能力达到 1000 万千瓦，到 2040 年达到 3000 万至 4500 万千瓦。为了快速赶上欧洲，日本的当务之急是从根本上重新审视人才培养政策和制度设计。

风光电大基地开辟规模建设新思路

协调供需和源端一体化特征凸显

中国电力报 2023.2.22

大型风光电基地建设情况

第一批约 9700 万千瓦基地项目已全面开工、部分已建成投产，第二批基地部分项目陆续开工，第三批基地已形成项目清单

4.5 亿大基地已经陆续安排部分项目，每个项目均整体规划约 1200 万千瓦新能源装机（光伏为主），以及配套调峰电源和外送通道方向

建设大型风光电基地是构建新型能源体系的基础。2 月 15 日，在由中国光伏行业协会主办的 2023 光伏发电项目经济性分析论坛上，有关各方就我国大型风光电基地规划建设情况进行了热烈讨论。作为参与大基地项目工作的规划单位，电力规划设计总院副总工程师王霁雪表示：“从这一轮基地项目来看，基于‘保供’和‘双碳’思考的大基地与通道，更加凸显了协调供需和源端一体化特征，而非新能源接入系统或送出工程概念。这与以往的规模化开发建设发生了根本性变化。”

精准把握政策方向

加大力度规划建设以大型风光电基地为基础、以其周边清洁高效先进节能的煤电为支撑、以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新型能源供给消纳体系，是我国能源工作的既定目标。

2022年初，国家发展改革委、国家能源局发布《“十四五”现代能源体系规划》，规划指出，要在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设。

根据相关文件，将以库布齐、乌兰布和、腾格里、巴丹吉林沙漠为重点，以其他沙漠和戈壁地区为补充，综合考虑采煤沉陷区，规划建设大型风电光伏基地。

目前，依据大基地规划第一批约9700万千瓦的基地项目已全面开工、部分已建成投产，第二批基地部分项目陆续开工，第三批基地已形成项目清单。

王霁雪表示：“这些基地主要依托于现在既有的系统消纳空间、系统的存量通道，以及在可行的条件下本地消纳增量较多的大基地。”

以沙戈荒为主体的4.5亿大基地已经陆续安排的部分项目，每个项目均整体规划约1200万千瓦新能源装机（光伏为主），以及配套调峰电源方式和外送通道方向。

对于4.5亿大基地项目，同步衔接调峰电源、基础电源和外送通道方向，意味着除了规划新能源电站，还协调了承担基础性、保障性电力安全保障的电源，同时也考虑了特高压输电的整体方向，以及必要的调峰电源。

源网荷存在海量工作

在大基地项目快速规划建设的同时，相关规划的中期评估已在有序开展。

有关批次基地将存量相关项目协调纳规，确保源（主要为调峰电源及基础电源）网协同。另一方面，4.5亿大基地后续项目仍在有序推进，在已经协调了整体供需布局的基础上再逐个项目实施推动，包括了跨省跨区采用特高压方式进行疏导，部分考虑了采用电源改造增容扩大能力。

王霁雪表示：“这一轮基地项目发生了根本性的变化。这其中要协调好底线规划、刚性规划、资源规划之间错综复杂的关系。”

思路的转变产生了源网荷三方面的海量工作，从源的角度，确保新能源场址的沙戈荒属性，又要具备良好的资源条件，而且与调峰电源的距离在合理范围之内，保证电气安全，统筹考量经济性。从网架的角度，特高压的密集通道和同送同受所必须考虑的电网稳定，都需要全面系统进行研究。从负荷的角度，受端市场面向电力“保供”和“双碳”工作需求时，结构、价格也在发生变化。

已形成鲜明的技术路径

应对大规模新能源并网接入，大基地项目已经形成了鲜明的技术路径。

面对大规模间歇性新能源的并网和消纳难题，结合资源特性和系统条件，大型风电、光伏基地的技术路径主要包括，传统电源，充分发挥煤电、水电等传统支撑电源调节能力；新型电源，因地制宜配置合理规模的光热发电和新型储能；存量改造，推动高效清洁煤电原址或就近改扩建，积极有序开展存量煤电灵活性改造。

王霁雪表示：“为了构建新型能源体系，充分体现新型替代性电源的作用，需要电力系统领域、装备制造很强的基础性研究、前瞻性示范。”

为了鼓励光伏的创新应用，电力规划设计总院与中国光伏行业协会共同研究提出《光伏建设先进性指标》，主要包括质量规范指标、主动创新指标和光伏电站光伏组件、逆变器、光伏系统等核心指标。目前，该指标已上报国家相关主管部门，供相关主管部门与行业企业参考。（赵汀）

十、核能

中国科学院院士张杰：

激光聚变“点火”成功是人类迈向聚变能时代里程碑

中国科学报 2023.2.8

2022年12月13日，美国能源部部长詹妮弗·格兰霍姆宣布，美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室的研究人员利用“国家点火装置”（NIF）总能量为2.05兆焦耳的192路激光束，球对称聚焦在微型氘氚燃料靶丸上，产生了3.15兆焦耳的核聚变能量输出。据介绍，该成果跨越了聚变点火阈值，历史性地实现了净能量增益（ $G > 1.5$ ）。与此同时，实验的成功也证实了惯性聚变能源的科学基础。

此项成果将给能源变革及可控核聚变技术路线等带来怎样的影响？近日，针对相关问题，《中国科学报》专访了中国科学院院士、中国科学院物理研究所研究员张杰。

作为激光等离子体物理学家，过去3年里，张杰带领一个由中科院内外15个单位的研究人员组成的联合研究团队，利用中科院上海光学精密机械研究所神光II升级大型强激光实验研究平台，对新型激光核聚变方案开展了8轮大型联合实验研究。在他看来，美国NIF团队取得的新成果从科学原理和工程技术上验证了激光核聚变反应实现净能量增益的可行性，是人类迈向聚变能时代的一个重要里程碑。

两条路线会同时推进

《中国科学报》：NIF团队此次成果的意义何在？是不是可以理解为惯性约束聚变路线已经超越了磁约束聚变路线？

张杰：惯性约束聚变路线与磁约束聚变路线是人类实现受控核聚变反应的两条主要技术路线。目前，这两条路线所处的发展阶段是类似的，都到了跨越“门槛”的关键时刻。

根据美国能源部新闻发布会上的信息，氘氚核聚变反应释放了大约3.15兆焦的聚变能，

大约是用于压缩和加热氘氚燃料靶丸驱动激光能量的 1.5 倍，实现了核聚变反应输出能量大于驱动激光能量的“点火”目标。

当然，目前的突破相对于实现聚变能应用的目标还有很长的路要走。虽然这次 NIF 实验首次成功实现了与驱动激光能量相比的净能量增益“点火”，但这个“点火”与发电站用的 Q 值（输出能量与输入能量之比）并非同一个概念，因为产生 NIF 装置 2.05 兆焦耳的驱动激光能量还需要耗费 322 兆焦电能。

那么，为什么这次进展如此令人兴奋呢？从能源角度看，人类历次工业革命的根本驱动力都是以提高化石能源使用效率为基础的。面向未来可持续发展的需求，人类社会迫切需要更高能量密度、更安全经济的非碳终极能源——核聚变能。从这个意义上说，NIF 实验的“点火”成功首次展示了人类脱离化石能源进入聚变能时代的潜力。因此可以说，这次实验结果是人类迈向核聚变能时代的里程碑。

《中国科学报》：您在 2021 年初时曾说过，激光聚变研究走到了“门槛”。如今这个“门槛”是否跨过去了？下一个“门槛”又会是什么？

张杰：在 2021 年初，我的确说过，核聚变反应单位质量的输出能量比化石燃料高数百万倍，在反应过程中不排放碳、不产生长寿命的放射性废物，而且核聚变燃料极其丰富，因此被称为未来人类社会可持续发展的“终极”能源。经过世界各国科学家 60 多年坚持不懈的研究，人类已经走到核聚变反应的“点火”门槛。

这次 NIF 实验结果表明人类已经跨过了这道门槛，证明了在实验室实现净能量增益可控核聚变的科学可行性，也为下一步聚变能源应用打下了基础。当然，如果从激光聚变能源应用角度看，前面还有很长的路要走。下一步激光聚变研究的焦点将从追求“点火”目标变为追求更高能量增益的聚变方案，再到实现聚变发电。

无论是惯性约束核聚变还是磁约束核聚变，在跨过“点火”目标的门槛之后，作为未来能源应用的共同目标依然是实现核聚变输出能量达到输入能量的 10 倍、30 倍、100 倍增益，获得近乎取之不尽、用之不竭的清洁能源。

《中国科学报》：美国能源部正在重启惯性核聚变能计划。目前 NIF 取得的成果是否会使全球将更多经费投入惯性约束核聚变而非磁约束核聚变领域？

张杰：对于目前世界几个全力推进可控核聚变研究的大国来说，磁约束和惯性约束核聚变这两条路线依然会同时推进。

10 多年前，科学界、国家科技决策层经过共同讨论，最终达成了我国加入国际热核聚变实验堆计划（ITER）的共识。从目前看，中国对 ITER 的贡献已远远超过了预期，这足以说明我国对磁约束核聚变路线的重视。不管是 ITER 还是东方超环，这种已经形成广泛共识的项目都不会因为 NIF 这次成果而停下来。当然，我国对惯性约束聚变研究的努力一定会因此得到激励。

聚变输出能量或可非线性提高

《中国科学报》：关于输入能量，之前 NIF 一直输入的是 1.9 兆焦，但这次提升到了 2.05 兆焦。2.05 兆焦是否是目前全世界能输出的最大激光能量？

张杰：NIF 是目前世界上最大和最复杂的激光光学系统，长 215 米、宽 120 米，大约相当于 3 个足球场的面积。从 1997 年开工到 2009 年正式落成，其总计投入在 35 亿美元以上，如果加上过去 10 多年在相关研究上的投入，总经费达数十亿美元之多。

由于这次实验的重要性，NIF 这一轮实验中使用的驱动激光能量从 1.9 兆焦提高到 2.05 兆焦，看似提高不多，但其实已经逼近 NIF 激光能量的最大输出极限。未来，他们还会进一步努力提高驱动激光的能量，希望在更高的驱动激光能量下获得更好的结果。

《中国科学报》：发布会上提到，NIF 在 2022 年 9 月进行了不同的设计。据您所知，他们在设计上做了怎样的调整？

张杰：这次 NIF 实验将 2.05 兆焦的激光能量通过 192 路激光束聚焦到 2 毫米的重金属黑腔内，把激光能量转化为均匀的 X 射线辐射，X 射线再对氘氚靶丸进行压缩和加热，从而将燃料靶丸压缩到太阳内核的温度和压力，实现聚变点火。

在 2021 年 8 月 8 日之前，他们的设计方向主要是对靶进行优化，包括空腔、氘氚靶丸及烧蚀层等。优化的结果是 8 月 8 日取得了破纪录的聚变反应——产生了 1.35 兆焦耳的能量，约为输入激光能量的 70%，是世界上最接近净能量增益的一次。

此后，他们将优化设计的方向调整到了辐射场的均匀度上，并取得了新进展。激光束和激光束之间的能量转移原本是一个副作用，现在他们掌握了把副作用变成有利效应的方法，可以让内部辐射场均匀化且均匀度好于 1%，这应该是他们这次取得的最大技术进步。同时，经过对激光能量的进一步提高以及对靶丸烧蚀层厚度的微调，2022 年 12 月 5 日，NIF 终于实现了净能量增益的聚变“点火”。

《中国科学报》：按照 NIF 目前的技术设计，有没有可能进一步提高能量增益？

张杰：在这次新闻发布会上，他们提到“要进一步提高驱动激光的能量，希望能够获得更大的聚变能”。从这句话里能够感觉到，他们对于用同样激光能量获得更大聚变能量输出是有所保留的。

但可以确认的是，假如这个结果可以重复的话，之后如果他们进一步提高驱动激光能量，我相信聚变输出的能量会进一步提高，而且很有可能不是线性提高，而是非线性提高。

与美国不同的激光聚变实验正在进行中

《中国科学报》：目前我国在可控核聚变方面的整体研究布局情况如何？

张杰：在磁约束核聚变方面，早在上世纪 70 年代，中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所就开始了核聚变相关研究，并于上世纪 90 年代启动磁约束核聚变技术——超导托卡马克的研究。

2006 年，被誉为“人造太阳”的东方超环正式建成，成为我国自行设计研制的国际首个全超导托卡马克装置。同年，以中科院为主导的中国团队加入 ITER，成为全球探索“人

造太阳”新能源队伍中的重要一员。

在惯性约束核聚变研究方面，上世纪 60 年代，我国科研人员就在王淦昌先生的倡议下在中科院上海光学精密机械研究所开启了激光惯性约束核聚变研究。上世纪 80 年代，该所开启了大型综合性激光装置——“神光”的预研工作。该装置于 1986 年建成，被称为“神光 I”。2000 年和 2015 年，我国又先后建成神光 II 激光装置和神光 III 主机激光装置并投入使用。

2020 年，中科院启动了新型激光聚变方案的先导专项研究，采用与美国完全不同的激光聚变方案，希望大幅度提高激光聚变点火的能量转换效率。目前相关理论与实验研究正在进行中。（倪思洁）

法国力促欧盟发展核能制氢产业

中国能源报 2023.2.13

近日，法国联合其他八个欧盟成员国向欧盟委员会致信称，基于当前欧盟制定的“科技中立”主张和“欧盟各成员国自行决定能源结构”的原则，欧盟应修改当前的可再生能源分类规则，将利用核能制得的氢气纳入低碳燃料的分类中。

一直以来，欧盟多国对于是否要将核能制氢纳入“低碳氢气”分类的争论不断。业界认为，在法国的强烈呼吁下，欧盟有可能对当前能源发展规划进行修订，核能制氢产业的春天或将到来。

法国力挺核能制氢

综合多家外媒报道，此次向欧盟委员会联合致信的国家包括法国、罗马尼亚、保加利亚、波兰、斯洛文尼亚、克罗地亚、斯洛伐克、匈牙利和捷克九国。上述联合信件的内容显示，当前欧盟制定的《可再生能源指南》仅提到将大力开发风光等可再生能源制氢，没有将核能制氢纳入考虑范畴。为达成欧盟制定的交通行业和工业的氢燃料发展目标，低碳氢气的发展路程中不应有“任何推迟举措以及不必要的限制”。这些欧盟成员国建议欧盟委员会尽快修正目前的《可再生能源指南》，制定氢燃料发展目标，将包括核能制氢在内的其他低碳氢气置于同等发展地位。

对于核能制氢的重要性，联合信件做出了如下解释：一方面，要达成既定的气候目标，欧盟需要大量的新型燃料和低碳能源，低碳排的氢气正是其中的重要组成部分。如果持续对低碳氢气发展设置障碍，欧盟不仅可能无法达成气候目标，更可能阻碍经济增长。另一方面，核能制氢将提高欧盟氢能产业在国际社会上的竞争力。联合信件进一步表示，风电、光伏等可再生能源电力存在间歇性的特性，可能会影响到低碳氢气的生产速度。同时，美国政府已出台了《通胀削减法案》以吸引跨国公司、推动低碳产业落地，而目前欧盟氢能产业仍在发展初期，要提高欧盟氢能产业在全球的竞争力，避免企业纷纷转向美国投资，就不能“限制氢能经济的发展速度”。

核能制氢认可度提升

据了解，欧洲工业界目前使用的氢气大多来自于煤炭和天然气等化石燃料，生产过程中有大量碳排放。与之不同的是，由核能电解水制得的氢气被业界称为“粉氢”，全程几乎没有碳排放。

多年以来，欧盟各成员国对于核能应用乃至核能制氢的态度始终存在分歧。德国、丹麦、奥地利等国都曾对大力应用核能表示反对，认为核能与风光发电不同，是不可再生的能源，大力发展核能甚至可能会损害欧盟可再生能源行业。但在法国看来，核能发电不仅稳定可靠，同时更具备低碳属性。法国作为欧洲的核电大国，核能发电可占到该国电力结构的70%以上。另外，此次致信欧盟的其他八个国家也对核能应用持积极态度。

不过，面对持续的能源供应危机以及迫在眉睫的气候目标，今年初，欧盟内部对核能制氢的分歧已有所减少。据欧洲媒体 Euractiv 报道，1月23日，法国与德国达成了针对低碳氢气的“共同路线图”，德国表示将核能制氢纳入未来低碳氢气发展路径之中，法国则同意将联通西班牙和法国的氢气输送管道延伸至德国，共同开发应用低碳氢气。在法国和德国最新达成的联合声明中，双方表示将共同建设欧洲氢能市场，同时也将建立针对电池充电和加氢基础设施的两国对话平台。

市场潜力有待挖掘

截至目前，欧洲已有多国开始积极规划核能制氢项目。2021年，法国政府就曾提出到2030年成为绿氢生产大国的目标，计划投资至少300亿欧元重塑本土工业，不仅要大量利用核能制氢，还要加大小型核反应堆的投资力度，扩大低碳氢气产量。英国政府此前提出的“下一代核电反应堆”计划也表示将利用核电制备低碳氢气。

法国电力公司也多次对核能制氢项目表示支持。据了解，该公司在英国运营的 Sizewell C 核电项目已经开始探索制氢路径，不仅将利用核能制氢探索降低电站建设运营过程中碳排放的方法，还可能利用核能发电产生的余热提高制氢效率。法国电力公司表示，低碳氢气市场扩张将带来经济规模效应，不断学习实践的过程有望降低氢气的生产成本。

据了解，去年6月，国际原子能机构提出了针对核能制氢制定商业部署路线图的计划，在业界看来，核能制氢相关工业基地和供应链的建设已蓄势待发。

国际原子能机构指出，氢能将在实现气候目标方面发挥核心作用，同时有助于确保可靠的清洁能源供应，全球迫切需要通过核能和可再生能源转向清洁氢能的生产。为此，该机构希望决策者、设计者、项目经理和营运者聚集在一起，分享国家战略和技术的最新进展，并跟进核能制氢的不同技术路线。（李丽旻）

十一、其他

300 米深水立起“海基一号”

科技日报 2023.2.9

今年春节，深圳东南 250 公里的南海东部陆丰油田，103 名员工坚守在“海基一号”钻采平台。

千里外的北京，中海油研究总院工程研究设计院副院长付殿福带领的“海基一号”攻关团队，也在密切关注平台运行情况。

一切正常。

“‘海基一号’经受住了‘马鞍’‘尼格’等强台风的考验，事实证明，300 米级深水导管架模式成功了。”付殿福不无自豪地告诉科技日报记者。

“海基一号”钻采平台是我国首次在 300 米级水深海域开发的石油钻采平台，被称为“亚洲第一深水导管架平台”。它的“成功上岗”背后，是中海油攻关团队坚持不懈的创新求索。

选场址“用数据说话”

导管架是海洋石油开采中的重要结构。简单来讲，它是一个固定在海底的钢架，托住上方的采油平台。

要让这个庞然大物屹立海底，首先要摸清海底环境。

“海基一号”所处的中国南海，与挪威北海、美国墨西哥湾并称“世界三大海况恶劣海域”。南海内波频发，而陆丰油田区块正位于台风发展的路径上。在海底，陆丰油田区块存在大量的沙波，部分海域还有滑坡、断层等不良地质状况。

“海基一号”为何“偏向虎山行”，挑战“世界级”海洋工程难题？

这是因为，300 米水深海域将成为我国海洋油气开发的重要战场。我国海洋油气资源丰富，南海油气资源占比超 3/4，光 200 米至 400 米水深海域探明石油地质储量就超 3 亿吨。

不得不做的事情，就下定决心做好。

“海基一号”攻关团队环境条件专业负责人谢波涛采用海底地形调查、沙波监测及数值模拟相结合的方法，在场址处设置水泥桩监测其变化，在计算机中模拟各种潜在因素对沙波沙脊运移的影响。

每当拿到最新的监测数据，谢波涛总要根据实际情况，修正自己对沙波沙脊移动和变化规律的认识。这一监测，就是两年。

“采集数据，分析数据，在数据中找规律，找证据，用数据说话。”谢波涛说，无论什么问题，多出几次海，多熬几个晚上，总能找到正确答案。

将数据“印”在脑子里，谢波涛对南海也有了深刻了解。

在一次与外方的讨论会上，一听对方提供的数据，谢波涛直言“不合理”。对方公司核

实发现确实如此，甚至连错误的原因都和他说的一模一样。

“就像有人动摆在自己家里的物件，一下子就能发现不对劲。”谢波涛说。

基于这些数据，联合攻关团队将“海基一号”平台场址向东南方向移动约140米，使场址位置的海床由无规律的不平整地貌，变为相对规则的阶梯状地貌。

他们给导管架设计的阶梯形防沉板，则完美契合了阶梯状海床地貌，在避免处理复杂的海底地基地貌的同时，满足了导管架的就位精度。

大瘦身“8腿变4腿”

导管架的外形类似细长形的金字塔，钢桩越多，底座相对越稳固，但也更费钢材，体积也更大。

在世界范围内数千座导管架生产平台中，高度超过300米的仅有9座。

我国此前做过200米级的导管架，如果不计成本和重量，简单“依葫芦画瓢”，设计300米级的即可。但将小尺寸导管架等比例放大，会耗费大量钢材，极大增加成本，也就失去了开发深水导管架的意义。

更重要的是，我国现有的最大吨位的水驳船也装不下这样的“大家伙”。

付殿福团队要做的，是必须将结构做小做轻，同时还能承载更大的上部生产模块与环境力。

国外公司有成熟经验，向他们取经可少走很多弯路。但团队的共识是：关键核心技术只能靠自己，不能被人牵着鼻子走。

翻阅文献、力学分析、结构建模……他们迅速行动起来。付殿福记得，2019年国庆节假期，朋友圈摄影大赛激战正酣，而团队成员的参赛作品是工作群里一张张“海基一号”设计图。

经过密集的研讨、碰撞，“海基一号”初具雏形。

“超大尺寸X撑和‘8腿变4腿’的结构优化设计，成为我们研究的重点方向。”付殿福说。

这一方案的实施，为整个项目节约了至少3000吨钢材用量和1亿元的工程投资。

新的问题又来了。导管架重量减轻了，结构整体刚度也降低了，却由此产生了共振问题，这将导致严重的节点疲劳问题，威胁导管架结构安全。

导管架重了不行，轻了也不行，技术团队似乎走进了一条“死胡同”。

如何改进节点抗疲劳设计，成为那段时间里，萦绕在结构工程师们脑海中的问题。经过新一轮的“烧脑”、验算后，他们开发了新的波浪动力计算方法，创新性地采用了精细化抗疲劳设计，采用不同的疲劳安全系数选取原则，确保了导管架的结构安全。

最终，通过浮动式下水桁架、超大X撑结构等创新设计，研发团队将“海基一号”平台重量优化至3万吨，比此前同海域水深不到200米的导管架重量还轻，并可应对百年一遇的恶劣海况。

自2022年10月投产以来，这个高度超过北京国贸大厦的“国之重器”运行平稳，每天生产约2万桶石油。

党的二十大报告强调，以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战。

“我们将进一步加大关键研究攻关力度，切实提高自主创新能力，保障国家能源安全，推动高水平科技自立自强和国家战略科技力量建设！”中海油研究总院院长米立军表示。（操秀英）

油气资源开发向“深”挺进

——2022年深层油气勘探开发获重大成果

中国电力报 2023.2.9

1月份，“三桶油”按照惯例，分别发布2022年度油气勘探开发重大标志性成果。其中，中国石油化工集团有限公司（以下简称“中国石化”）在塔里木盆地顺北油气田新区带油气勘探取得重大突破；中国海洋石油集团有限公司（以下简称“中国海油”）在琼东南盆地深水深层大型天然气田勘探获得重大发现；中国石油天然气集团有限公司（以下简称“中国石油”）则表彰了2022年度油气勘探重大科技成果，包括四川盆地威远、渝西地区深层页岩气勘探等在内的30余项成果获得奖励。记者发现，这些重大成果中，深层、超深层及深水油气勘探开发成果格外亮眼，展现出强劲的开发潜力和增储上产能力。

油气上产由“深”释放

2022年，随着增储上产“七年行动计划”持续推进，我国油气产量再创新高。数据显示，2022年我国实现原油产量2.04亿吨、天然气产量超2170亿立方米，分别比上年增长2.9%、6.4%。其中，大型油气田产量贡献突出，长庆油田全面建成国内首个年产500亿立方米战略大气区，油气产量当量突破6500万吨；大庆油田连续8年实现3000万吨稳产。

不仅如此，“三桶油”油气勘探开发多点开花、收获颇丰。

具体来看，中国石化全年新增石油探明储量2.02亿吨、天然气探明储量2786亿立方米，超额完成“七年行动计划”年度目标任务。

中国海油2022年新增石油探明地质储量超3.3亿吨、天然气探明地质储量超1200亿立方米，创“十三五”以来新高。

值得注意的是，深层、超深层油气上产成果亮眼。

以中国石化为例，其在我国深层油气产量基地实施的“深地工程”获得重大突破。塔里木盆地顺北油气田基地是我国首个以“深地工程”命名的油气项目，被誉为“深地一号”。2022年，顺北油气田4号、8号断裂带19口井获千吨高产油气流，新增油气探明储量5760万吨、1226亿立方米，油气控制储量4026万吨、2172亿立方米。

与此同时，深水区油气产量加快释放。2022年12月30日，中国海油南海东部油田全年油气产量首次突破2000万吨油当量，这是中国海油贯彻落实油气增储上产“七年行动计划”的重要成果，也是我国海洋石油工业走向深水的重要里程碑。

陆上勘探挺进深地

深层、超深层油气资源勘探开发潜力巨大。在我国油气勘探开发实践中，埋深超过6000米的地层为深层，埋深超过8000米的地层则为超深层。我国深层、超深层油气丰富，资源量达671亿吨油当量，占全国油气资源总量的34%。以塔里木盆地为例，仅埋深在6000至10000米的石油和天然气资源就分别约占其总量的83%和64%，是世界陆上最深的商业开发油气田之一。

中国石化以塔里木盆地“深地工程”为重心，加速向地层深部进军。2022年8月10日，中国石化宣布，其在“深地一号”——塔里木盆地顺北油气田基地顺北803斜井，测试获高产工业油气流，折算日产原油244.3吨、天然气97万立方米，油气当量达到1017吨，成为顺北油气田超深层第15口“千吨井”。2022年，中国石化在顺北油气田垂直深度超过8000米的井已达46口，整体超十亿吨级资源阵地进一步落实。

中国石油的深地勘探之旅同样精彩。2022年10月9日，中国石油宣布，位于塔克拉玛干沙漠腹地的我国最大超深油田——富满油田累计生产油气突破1000万吨，标志着我国超深层油气迈入规模开发新阶段。据中国石油塔里木油田哈得采油气管区负责人李旭光介绍，2022年，中国石油在富满油田东西190千米的战线上投产新井50多口，使其年产能达到260万吨，成为我国深地领域上产速度最快的超深油田。另外，根据中国石油旗下中油技服最新发布的数据，2022年中油技服各成员企业共施工37口超8000米深井，标志着中国石油超深井技术已全面进入8000米时代。

深水油气开发潜力巨大

除了向地层深部进军之外，油气勘探开发的触角也加速向海洋深水延伸。由国家油气战略研究中心和中国石油勘探开发研究院发布的《全球油气勘探开发形势及油公司动态(2022年)》报告指出，深水领域已经成为近年来全球油气勘探开发业务最具潜力的发展方向之一。该报告公布数据显示，近十年深水油气项目已成为全球石油行业增储上产的核心领域，新发现的101个大型油气田中，深水油气田数量占比67%、储量占比68%。截至2022年底，全球深水油气产量约为1100万桶油当量/日，占世界油气总产量6%左右。

如今，深水油气资源勘探开发成为国际和国内石油公司布局的重要方向。我国深水油气资源开发潜力巨大，其中南海地区最受瞩目。资料显示，该区域拥有全国油气资源总量的三分之一，其中70%位于深水和超深水区域。

近年来，中国海油锚定南海东部油田，加大深水油气资源勘探开发力度。2021年6月，中国海油自主开发的首个1500米超深水大气田——“深海一号”正式投产通气，推动我国海洋油气勘探开发全面进入“深水时代”；2022年10月，中国海油成功发现我国首个深水

深层大气田宝岛 21-1，探明地质储量超过 500 亿立方米；2022 年 12 月 30 日，“深海一号”二期工程全面开工建设，标志着我国深海油气勘探开发又迈出全新的一步。

“‘深海一号’二期工程建设是加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快实现高水平科技自立自强的新举措、新作为。”中国海油党组书记、董事长汪东进表示，该项目将进一步推动南海万亿立方米大气区建设，为粤港澳大湾区和海南自贸港“双碳”转型贡献更大力量。同时，其还将突破一系列技术难题，使我国成为世界上极少数能自主开发深水高温高压气田的国家之一。

2022 年全国油气勘探开发十大标志性成果

●原油产量时隔六年重返两亿吨

2022 年，围绕老油田硬稳产、新油田快突破、海域快上产，大力提升勘探开发力度，全年原油产量 2.04 亿吨，时隔六年重上两亿吨，完成“七年行动计划”重要节点目标

●天然气连续六年超百亿立方米增产

加大新气田勘探开发力度，坐稳常观天然气主体地位，推动非常规气快速上产，2022 年天然气产量约 2200 亿立方米，年增产量连续六年超百亿立方米

●深地工程推动超深层油气实现新突破

塔里木盆地分布有我国最大超深海相碳酸盐岩油气田，具有超深、超高温、超高压等特点，通过创新建立断裂控储成藏地质理论，强化工程技术攻关，高效建成富满、顺北等大型油气田，突破超深层效益勘探开发极限

●深海油气勘探开发助推海洋强国建设

2022 年，深海区域地质研究、油气田开发、装备建造、钻完井技术体系及配套作业能力建设进一步加强，实现了深水油气勘探开发新突破，基本具备了深海油气勘探开发全产业链的技术和装备能力

●页岩油加快发展成为原油稳产生力军

通过加强地质工程一体化攻关，不断完善配套技术工艺，鄂尔多斯盆地庆城、准噶尔盆地吉木萨尔建成百万吨级页岩油产区，大庆古龙、胜利济阳不断扩大页岩油建产规模。2022 年页岩油产量突破 300 万吨，是 2018 年的 3.8 倍

●页岩气持续快速上产实现跨越式发展

持续深化页岩气成藏和富集理论，创新发展水平井忧快钻井技术、水平井体积改造技术、复杂山地工厂化作业技术等关键工程技术，大幅提升单井产量和最终可采储量，推动页岩气跨越式发展

●长庆油田建成首个 500 亿立方米战略大气区

2022 年，苏里格气田作为全国陆上最大整装气田，2022 年产量突破 300 亿立方米，助力长庆油田天然气产量达 507 亿立方米，占全国天然气产量的近 1/4，全面建成国内首个年产 500 亿立方米战略大气区

● 油气勘探开发助力“双碳”目标

2022年，中国石油CCUS项目多点开花，二氧化碳年注入量突破100万吨，产油30万吨。中国石化“齐鲁石化—胜利油田百万吨级CCUS”项目加快建设，累计捕集35.3万吨、注入35.2万吨。中国海油完成国内海上首个百万吨级恩平15-1 CCS示范工程关键设备国产化与安装调试

● “一键式”人机交互7000米自动化钻机显著提升钻井自动化水平

成功研制“一键式”人机交互7000米自动化粘机，突破了多设备联动协同控制等技术瓶颈，在我国钻井装备史上具有里程碑意义

● 深水水下生产系统总体性能达到国际同等水平

2022年，我国水下自主油气开发技术体系与装备制造取得重大突破，首个采用自主设计、自主研发的国产化水下生产系统在我国南海东方1-1气田东南区乐东块成功使用，实现了水下油气生产系统关键国产化核心装备从“0”到“1”的突破（邹春蕾）

我国海上首个蒸汽驱先导试验累产油破20万吨

中国能源报 2023.2.6

渤海油田近日透露，中海油首个蒸汽驱先导试验——南堡35-2油田南区B36M井组目前已平稳注热30个月，累产油突破20万吨。

南堡35-2油田是渤海最早探索热力采油的稠油油田之一，自2008年启动热采试验以来，稠油采收率已提高10%，后续结合本区吞吐后地质油藏特征及地层压力水平，明确了转蒸汽驱开发道路。图为南堡35-2油田。

首口全国产化重建井筒重复压裂井获高产

科技日报 2023.2.15

2月13日，记者从中国石化江汉油田涪陵页岩气田获悉，我国首口采用全国产化工艺技术和工具材料的重建井筒重复压裂气井——焦页5-1HF井圆满完成各项施工任务，试获14.2万立方米/天高产工业气流，施工成本较初期降低28.9%，标志着我国在页岩气重建井筒重复压裂领域打破国外制约，为国内页岩气田老区开发增储上产提供有效借鉴。

重建井筒重复压裂技术起源于北美，是在气井原套管内下入更小尺寸的套管，然后在小套管内进行分段压裂施工，对储层进行再次改造，以达到提高储量动用率和气藏采收率的目的。2020年初，涪陵页岩气田在国内率先开展页岩气井重建井筒重复压裂探索和试验，并在焦页4HF井获得成功，但由于工艺流程复杂、部分工具性能不稳定等问题，我国在该技术领域长期依赖进口。

为加快推进重建井筒重复压裂关键技术国产化进程，涪陵页岩气田深入开展国外合作学习、充分调研交流、系统分析论证和自主创新攻关等工作，联合多家科研和工程单位，在国

内首创了页岩气水平井重复压裂选井选段方法，形成了套中固套重建井筒的施工推荐做法，创建了重建井筒重复压裂差异化布缝控缝的压裂技术，研制了页岩气水平井重建井筒重复压裂工具材料体系。

在此次重建井筒重复压裂施工中，涪陵页岩气田充分总结以往施工经验，严格遵循“一井一策、一段一策”原则，从选井方向、增产机理、现场调整优化等方面不断研究深化认识，结合焦页5-1HF井地质特征进行差异化压裂设计，利用自主建立的气藏工程一体化管理平台，密切关注邻井响应实时调整，最终高质量完成了重建井筒重复压裂施工任务，该井测试产量恢复到初次压裂的75.1%，达到北美先进水平。

据了解，涪陵页岩气田是我国首批国家级页岩气示范区，开发建设十年以来，全体参建单位致力打造“国之重器”，创新集成六大核心技术体系，制定158项页岩气勘探开发标准和规范。截至目前，涪陵页岩气田累计产气突破540亿立方米，为保障国家能源安全、助力长江经济带高质量发展作出了积极贡献。（雍黎 明月）

国产首套 LNG 船对船加注系统完成首秀

中国电力报 2023.2.13

本报讯（记者 于琳娜 通讯员 孟祥慈 陈一鸣）近日，记者从中国船舶集团有限公司获悉，该公司七一六所及中国海防旗下连云港杰瑞自动化有限公司、中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司联合研发的国产首套液化天然气（LNG）船对船加注系统——杰瑞 LNG 船对船加注系统在深圳盐田港完成对“海洋石油 301”号首船加注。

据悉，该船对船加注系统位于船艏加注站平台，左右舷安装，设计加注能力达每小时1650立方米，主要包括紧急脱离装置、快速连接装置、低温软管等系统，可实现船与船之间的 LNG 安全快速加注，具有加注流量大、安全可靠性强、环境适应性强等特点。作为国内首个实现实船应用的国产装备，该船对船加注系统成功打破了国外技术垄断，整套系统首次实现“核心部件国产化+核心技术自主可控”。

中国船舶七一六所项目组接到“海洋石油 301”号将进行首船加注通知时正值春节假期，项目团队第一时间奔赴现场，配合船东完成设备状态检查和加注作业流程制定。这是七一六所继国产首台（套）LNG 船岸智能装卸系统成功示范应用之后，在船海转运领域的又一重要突破，进一步提升了七一六所在油气储运领域的综合竞争力。

真空互联实验装置建成将为纳米材料研究提供新路径

科技日报 2023.2.

科技日报讯（记者张晔）2月18日，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所纳米真空互联实验站（Nano-X）二期项目通过总体验收，这为未来纳米材料研究及纳米器件制造提供了全新路径与可能。

来自中国科学技术大学、中国科学院化学研究所、中国科学院苏州医工所、中国电子科技集团公司电子科学研究院、苏州大学5所高校、科研院所组成的7人专家组认为，经过两期建设，实验站已建成世界上规模最大、功能最齐全的真​​空互联综合实验装置，项目圆满完成了合同书规定的各项研发任务，达到合同规定的各项技术指标，整体水平达到国际先进。

Nano-X是集材料原位生长、器件加工、测试分析为一体的材料领域重大综合科学装置，面向国家战略需求和科学前沿重大问题，开创了一条变革性的技术路线，将材料生长、器件工艺、测试分析通过超高真空管道有机互联在一起，突破常规超洁净环境下，独立分散设备难以实现的材料本征特性、原子级精准调控、表/界面调控和异质集成、器件原位制造等局限，为国家战略材料和前沿材料领域研究提供重要建制化、体系化支撑。

目前，已有近40台各种大型设备通过203米长的超高真空管道互联，建成了材料制备模块、微观机理原位分析模块、跨尺度性能测试模块、气氛可控模块和真空互联控制与对接系统等五大模块平台，形成了全真空环境下的纳米材料和器件研究开发的综合实验系统。

抽水蓄能核心控制系统装上了“中国芯”

中国能源报 2023.2.20

本报讯 日前，安装在广州抽水蓄能电站7号机组的我国首套300MW抽蓄机组“芯片级”自主可控励磁系统和调速器系统实现安全稳定运行30天，标志着南方电网在抽水蓄能成套控制系统设备国产化的关键技术研究应用上取得重大突破，成功推进抽水蓄能行业“全国产化”由主机设备向控制系统延伸，有力增强我国抽水蓄能产业链供应链的竞争力和安全性。

抽水蓄能电站是目前技术最成熟、经济性最优、最具大规模开发条件的电力系统绿色低碳清洁灵活调节电源。励磁系统和调速器系统均属抽水蓄能机组的核心控制设备，分别承担着电压和无功功率、转速和有功功率的调节任务，直接影响机组发电的可靠性和电网运行的稳定性。

控制系统的国产化水平大致可分为“设备级”“部件级”“芯片级”，其中“芯片级”的自主可控程度最高，要求整套设备中的关键元器件及控制芯片均实现国产自主可控。而在此前，我国抽水蓄能电厂在运的励磁系统、调速器系统主要元器件均为进口设备，特别是控制系统芯片，均为国外生产，备品备件更新艰难，控制程序均为“黑匣子”，核心功能优化存在“盲区”，关键技术面临“卡脖子”的不利局面。

2021年2月，南网储能公司启动了抽水蓄能成套控制系统设备“芯片级”自主可控的技术攻关，先行先试研究应用国产芯片的励磁、调速控制设备，内容涵盖选型、设计、生产、验收、安装及调试等各个环节。“基于国产芯片的励磁和调速系统的成功研制应用，将有效解决抽水蓄能电站关键控制系统‘卡脖子’的现状，打通供给约束的堵点、卡点、脆弱点，有利于我们掌握控制系统核心技术，助力公司业务的发展，确保整个产业链的安全。

控制系统设备‘芯片级’自主可控攻关涉及系统所有控制程序都将重新设计编写，会遇到很多困难和风险，但总得有人迈出这一步。”南网储能修试公司副总经理巩宇介绍。

在700多天的攻关过程中，项目团队先后完成了国内厂家走访调研、国产化替代方案制定、系统研发设计、控制程序源代码编写、设备生产组装、成品检测试验、现场施工调试等工作，每个环节都在历经多次“考验”后达到精益求精。

励磁系统方面，团队严格依据数据手册对国产产品闸管进行压接和检测，依规依标开展国产直流灭磁开关的装配以及型式试验，通过带发电机空载灭磁、交流灭磁、甩负荷等严苛试验考核了国产直流灭磁开关和灭磁电阻的性能，创新性地采用全柜TCP传输，成套设备的数据采集和检测性能得到了大幅提高，得到了行业专家评审组的一致肯定。调速器系统方面，以系统研发设计为例，团队不断优化完善控制逻辑，重新开发了控制程序源代码、攻克了以关键软硬件计时器异常、CPU发热、多导叶调节等多项技术难题，制造成品最终顺利通过了安全性、抗干扰能力、连续运行稳定性等多项性能测试。

截至2022年底，我国抽水蓄能在运总装机达到4500万千瓦，稳居世界第一。根据我国抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035年），2030年投产总规模将达到1.2亿千瓦左右。

“通过实施本次自主可控应用，我们在掌握相关核心技术上赢得了主动。”南网储能修试公司电气二次检修部主任陈强表示，项目不仅为我国抽水蓄能机组励磁系统、调速器系统的国产化应用提供了示范样板，还在过程中总结出了一套标准规范，将为我国抽水蓄能电站核心控制系统的规模化国产替代提供重要参考。（黄昉）

我国一次性建设规模最大原油商业储备库项目投用

中国能源报 2023.2.20

本报讯2月16日，中国海油发布消息称，我国一次性建设规模最大的原油商业储备库项目——东营原油商业储备库项目（以下简称“东营项目”）投油成功，标志着该项目正式进入试生产和商业运营阶段，对于增强国家石油供给保障能力、促进石油供需动态平衡、拉动能源贸易快速增长、应对重大突发事件具有重要意义。

据了解，东营项目由中国海油投资建设，占地面积超120万平方米，总投资达64亿元，共建设50座10万立方米的原油储罐及配套设，库容500万立方米，可储存原油约425万吨。

据中国海油东营港有限责任公司总经理武光照介绍：“项目投产后将通过海底管道、近海运输接收来自渤海油田的海上石油，依托东营港炼化产能及公用配套，实现我国海上自采原油就近上岸存储、加工消化和快速周转，形成区域进口原油的替代供应链。”

东营项目于2021年6月正式开工建设，按照百年一遇洪水设计，环保、防火设计标准均高于国家要求。建设过程中，项目采用自动焊机进行大型储罐和分管道的焊接作业，储罐焊接射线、超声探伤检测一次合格率超过99.3%，多项指标处于国内领先水平。项目以

全专业数字化设计为起点，是我国首个实现数字化交付的大型原油储备库项目，实现了“参建方和供货商全参与、设计采办施工全过程、文件数据模型全覆盖”的数字化交付。同时应用数字孪生、设备预测性维护、AI 视频识别、人员定位、工业互联网标识、油品移动、无人机防御，以及油气泄漏检测等技术，是一座可视化、在线化、数字化、智能化的工厂。

“东营项目选址落户东营以来，我们全力支持项目建设，实现当年开工建设、当年储罐主体建成，仅用 443 天实现机械完工，比国内同类项目用时节省近 100 天。”东营市市委副书记、东营港经济开发区党工委书记郭学峰介绍说，项目投产后，预计每年新增东营港吞吐量约 1500 万吨，实现进出口贸易额 200 亿元，不仅为当地炼化产业发展提供强有力的优质原料支撑，而且能够有力带动东营市经济发展。

原油储备事关国计民生，建设东营原油商业储备库，是中国海油与东营市进一步深化央地合作、携手保障国家能源安全的重要实践，对推动石化产业优化升级、增强山东省乃至整个华北地区的能源供应具有重要积极作用。（吴莉）

