

# 能 量 转 换

## 剪 报 资 料

总 64 期  
4/2023.4

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. 农村能源革命有了行动指南.....3
2. 国际可再生能源署：光伏、风电成可再生能源增长主力.....6
3. 国家能源局发布《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》.....8
4. 国家发展改革委等 9 部门印发《“十四五”可再生能源发展规划》.....9
5. 欧盟提高 2030 可再生能源目标.....9
6. 英国智库：2022 年是世界向清洁能源过渡的转折点.....10
7. 中国风能太阳能资源年景公报（2022 年）.....10
8. 高比例新能源催生逆变器技术革新.....15
9. 可再生能源开启多能协同发展新格局.....16
10. 2023 年能源工作指导意见.....18
11. 农村清洁取暖既要降本还要降碳.....20

#### 二、热能、储能、动力工程、节能

1. 液体形式存在的压电材料首现.....22
2. 首个嵌入织物的纤维泵制成或改变可穿戴技术游戏规则.....22
3. 新路线进一步释放全固态锂电池潜力.....23
4. 科学家证实水结晶可形成立方冰.....24
5. 我国科学家刷新锂二次电池能量密度最高值.....25
6. 美国：柔性导电聚合物材料会“思考”.....25
7. 中国钠离子电池研发领先世界.....25
8. 受蝴蝶翅膀启发的最轻涂料制成.....27
9. 开发可独立供能的摩擦纳米发电机.....27
10. 我国新型储能累计装机首次突破 10 吉瓦.....28
11. 我科学家研制出新型高镍三元正极材料.....29
12. 中国、欧洲、美国引领全球储能市场发展.....30
13. 海藻保鲜膜耐高温能降解.....31
14. 无氯电解液可应用于镁空气电池.....31
15. 加快推进压缩空气储能标准体系建设.....32
16. 新型真空绝热复合材料能在极温环境下应用.....34
17. 3D 多孔辐射制冷薄膜可使冰融化速率降低 4 倍.....35

#### 三、碳达峰 碳中和

1. 英押注五大领域力促净零排放.....36

2.	在香山科学会议上，专家指出——二氧化碳利用技术潜力巨大 .....	38
3.	我国科学家提出二氧化碳大规模资源化耦合利用新途径 .....	40
4.	新方法实现常温常压下二氧化碳捕获与释放 .....	42
5.	示范推进，中国“碳捕手”方兴未艾 .....	42
6.	《碳达峰碳中和标准体系建设指南》发布 .....	45
<b>四、生物质能、环保工程（污水、垃圾）</b>		
1.	合成生物学迎来发展的春天 .....	47
2.	全光谱光催化材料实现水体污染零碳净化 .....	49
3.	专家建议——建立基于生物质的新型生态能源系统 .....	50
4.	糖与木粉所制餐具可按需降解 .....	51
5.	中科院深圳先进技术研究院研发可持续能量转换的高效低成本催化剂 .....	52
6.	东方电气建成全球最大化学链燃烧示范装置 .....	53
7.	生物降解地膜：农田的环保“新衣” .....	53
8.	太平洋垃圾带形成生态系统 .....	56
9.	“吃掉”塑料，角质酶或可对抗“白色污染” .....	57
10.	生物质能：多元化发展才能走得更远 .....	58
11.	首次提出离子补偿重构策略强化催化位点构筑 .....	60
<b>五、太阳能</b>		
1.	三部门发布《关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知》 .....	61
2.	北京打造光伏与城市融合发展样本 .....	62
3.	海上光伏商业化渐行渐近 .....	64
4.	日本：开发出“隐形”太阳能电池 .....	66
5.	三结钙钛矿光伏电池效率创新高 .....	67
6.	国家能源局：推动光热发电规模化发展 .....	67
7.	制备出具有电热疏水润滑效果的薄膜材料 .....	68
8.	科学家设计出第一种光能酵母 .....	69
9.	光热发电迎来规模化良机 .....	71
<b>六、海洋</b>		
1.	我国建立常态化深海长期连续观探测平台 .....	72
2.	德国：建造世界最大科研造波机 .....	73
3.	我国首个商用海底数据舱在海南入水 .....	74
4.	深海热液低温溢流区气体释放通量是高温喷发区百倍 .....	74
5.	全球潮汐能商业化提速 .....	75
6.	新型泡沫：全天候淡水收集“小能手” .....	77
7.	淡水系统首次发现“塑料岩石” .....	79
8.	向深海能源进军，推进重大技术装备攻关 .....	80
9.	加强科技创新开发深海能源 .....	81
10.	更快更安全，第三代“海上飞船”来了 .....	86
<b>七、氢能</b>		
1.	我国首次实现固态氢能并网发电 .....	89
2.	澳大利亚：新技术大幅降低制氢成本 .....	90
3.	我自研兆瓦级 PEM 制氢装备性能进阶 .....	90
4.	多元化储运方式为氢能产业助跑 .....	91
5.	国内首创最大单体电解水制氢设备发布 .....	94

6. 新型能源体系建设期待绿氢应用展新局.....	94
7. 首个纯氢长输管道项目启动天然气长输管道掺氢获突破.....	97
8. “氢氨联动”引热议.....	99
<b>八、风能</b>	
1. 风电产业“风”头正劲.....	101
2. 单机容量最大国产化海上风电机组完成总体设计.....	103
3. 国内完成首次构网型风电场电磁暂态仿真测试.....	104
4. 浮式海上风电项目值得关注的法律事项.....	105
<b>九、核能</b>	
1. 403 秒！中国“人造太阳”新突破.....	107
2. 俄开发出核废料处理新技术.....	108
3. 新型超滤分离法“降伏”核废料锕.....	109
4. 我国主要核电堆型设备国产化率超 90%.....	110
<b>十、其它</b>	
1. 英国推动天然气掺氢进程.....	111
2. 可燃冰绿色可持续利用研究获进展.....	113
3. 我国海相深层页岩气勘探再获突破.....	114
4. 我国高端超薄取向硅钢技术取得突破.....	114
5. 高产高纯制备半导体性单壁碳纳米管实现突破.....	115
6. 增储上产，非常规油气铆劲发力.....	116
7. 石墨烯呈现创纪录高磁阻.....	121
8. 我国首次在 5 亿多年前页岩地层中钻获高产气藏.....	121
9. 我学者发现光驱动可编程胶体自组装新机制.....	122
10. 他们为天宫定制“供暖外衣”.....	123
11. 超高能量吸收密度力学超材料制成.....	125
12. 我国首个 10 万吨级陆相页岩油效益开发示范平台投产.....	125
13. 纳米成膜加固井壁防砂技术试验成功.....	126
14. 深海“地动仪”实现产业化制造，大幅提升深海深层油气藏勘探精度.....	127
15. 我国首个全自主可控大型抽水蓄能机组数智调速系统通过鉴定.....	128
16. 生态环境部等五部门联合印发《重点流域水生态环境保护规划》.....	129

本剪报资料仅供领导和科技（研）人员学习参考

## 一、总论

# 农村能源革命有了行动指南

中国能源报 2023.4.3

“民族要复兴，乡村必振兴。”习近平总书记要求“举全党全社会之力推动乡村振兴，促进农业高质高效、乡村宜居宜业、农民富裕富足”。今年的《政府工作报告》也提出，完善强农惠农政策，持续抓紧抓好农业生产，加快推进农业农村现代化。

农业农村现代化离不开能源支撑。为深入贯彻落实党中央、国务院决策部署，加大乡村清洁能源建设力度，助力全面推进乡村振兴，近日，国家能源局、生态环境部、农业农村部、国家乡村振兴局等四部门联合发布《关于组织开展农村能源革命试点县建设的通知》（以下简称《通知》），决定联合组织开展农村能源革命试点县建设。

“能源产业是乡村振兴的重要支撑，发挥可再生能源分布式创新发展的优势，加快推进农村能源革命，对保障农村地区能源安全、助力实现碳达峰碳中和目标任务、全面推进乡村振兴具有重要意义。”四部门在《通知》中表示。

在多位受访者看来，农村能源革命是推动乡村振兴的重要内容，试点县建设将对广大农村地区开展能源革命起到引领示范作用，意义重大。

### 农村能源结构进一步优化

事实上，相关部门一直非常重视农村能源建设。早在2016年12月，中央财经领导小组第十四次会议就首次提出农村能源革命。2018年7月，河南兰考成为全国首个农村能源革命试点建设示范县，经过多年发展，当地已初步形成以清洁能源为主体、多能互补的农村能源发展新格局。

本次新的试点起点更高，体系更加完善和明确，可以说是开展农村能源革命的“行动指南”。四部门随《通知》一同印发的《农村能源革命试点县建设方案》（以下简称《方案》）中，进一步细化了农村能源革命方向，围绕供给革命、消费革命、技术革命、体制革命四方面，进行了具体任务细分，并配套了一系列保障措施。

“这次四部门出台的农村能源革命建设方案，具有更多具体的、可操作的内容，包括提出了2025年的具体目标，也对一些具体的措施提出了要求，明确试点县重点要搞分布式光伏、风电、生物质能等方面的内容。”农业农村部农业生态与资源保护总站原首席专家李景明对《中国能源报》记者表示。

值得注意的是，《方案》给出了农村能源革命县试点工作的具体目标：到2025年，试点

县可再生能源在一次能源消费总量占比超过 30%，在一次能源消费增量中占比超过 60%。

对此，李景明表示，“试点县是选择性的、在有一定资源条件和基础的县先行先试，到 2025 年达到 30% 的消费总量占比目标，我认为是可以实现的。”

农村能源革命试点县的建设也引发企业的巨大热情。“在农村发展光伏，尤其是分布式户用光伏，最大优势在于不需占用农业用地，通过农村闲置的屋顶即可将光能转化为电能，无论是自发自用还是发电上网都能为农村创造绿色经济价值。农村光伏市场会持续保持上扬趋势，我们的开发速度也将进一步提升。”正泰安能相关负责人对记者表示。

中国农村能源行业协会副秘书长任彦波认为，农村能源革命是推动农民从单纯的能源消费者转变成为产消者的重要契机。农村有大量生物质、分布式光伏以及固废等资源，不仅可让农民解决自己的用能问题，富余的能源还可销售、集中发电上网。做到这一点，才是真正将农村能源循环起来。以此增加农民收入，也是乡村振兴的题中之义。

### **建设多能互补分布式低碳能源网络**

《方案》要求，锚定碳达峰、碳中和目标任务，以县域为基本单元统筹城乡清洁能源发展，推动乡村清洁能源高质量发展，探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络，提升清洁能源供给能力和消费水平。

在李景明看来，农村能源革命一定是多能互补、综合利用的，但在新的时代背景下，也有新的内涵。“对大部分农村地区来说，没有一种能源能满足农村用户的所有用能需求。这就要在农民经济可承受范围内，尽可能利用当地资源。比如，屋顶光伏、小型风力发电、生物质能等。”李景明表示，“过去更多的是面对一家一户，现阶段我们希望用一种网络化的供能方式完善能源供给和服务，以村、乡镇甚至县为单位，逐渐扩大网络，最终形成与国家的各种能源网对接的网络。”

中国工程院院士、原副院长杜祥琬在接受《中国能源报》记者采访时表示，“相比国家层面整体的能源革命，农村能源革命反而更易实现。”杜祥琬认为，农村的化石能源基础设施虽不完善，但资源禀赋天然地以可再生能源为主，风能、太阳能和生物质能等丰富。利用这些可再生能源，不会涉及大规模基础设施改造，可有效改变以往农村缺少能源的困境。值得注意的是，在推进农村可再生能源发展过程中，关键要做到因地制宜。

中国农村能源行业协会生物质能专委会秘书长肖明松强调：“这几年，很多农村地区一直都在做清洁能源建设工作，但是我国农村地大物博，南北方差异较大。比如，北方地区明显不适合建设沼气，尤其到了黑龙江省，由于冬天太过寒冷，还需要加温，能耗大；小型的风电，在南方没法用，但在内蒙古地区却很合适。”

“农村能源革命不仅仅是能源的问题，更多的还是环境问题和资源循环利用的问题。”李景明表示，“因为农村不像城市，完全使用的是商品化的能源，我认为更应该遵循就地就近原则。比如，利用当地的一些农林废弃物进行转化来生产出清洁的可再生能源，这就产生很多正面效应，既处理了有机废弃物，保护了生态环境，又可以让整个农林废弃物循环起来。”

值得注意的是，多位受访专家指出，农村能源革命要注重持续性问题。

李景明表示：“试点县的建设乃至整个农村能源革命，绝对不是一两年的事，它应该是一个长期的、持久的事业，要为农村居民建立完善的社会化的能源服务体系。现在很多地区给了农村比较清洁的能源，但后端的服务却没跟上，持续使用或高效率使用的效果就会大打折扣。此外，在农村地区选择了试点县，后期如何扩大示范成果，也是需要思考的问题。”

“总结此前农村清洁能源建设的经验，其中最大的问题就是后续管护服务不足。农村地区大都是留守的老人和孩子，有的设备他们不会用，或者出点故障就用不了，如果不及时处理维修，慢慢就闲置废掉了。所以，关键是运行，运行不好，前期大量工作就白费了。”肖明松坦言，“之前是‘七分建三分管’，现在要把思路扭转过来，变成‘三分建七分管’，把重头放在后续运行管理上。这次要把试点县做好，就一定要着重留出后期运行维护的资金。”

吉林省能源局新能源和可再生能源处原调研员佟继良建议，建立城乡清洁发展互动机制。“农村可为城市周边清洁取暖替代燃煤提供秸秆成型燃料，也可为城市提供生物天然气替代天然气，提高城市能源保障水平，进而为农村能源提供市场发展空间和盈利空间。”

不过，在李景明看来，目前农村能源革命大范围推开还有一定难度。“可以跟着城镇化建设的步伐走。哪个地方已经进行了农村社区的建设和管理，老百姓的意识加强了、意愿提高了、经济条件也好了，就在哪个地区先搞试点。”李景明坦言，推广农村能源革命，前提条件是必须有资源。这就意味政府的定位和作用以及社会贡献必不可少。很多条件是逐步形成的，随着社会经济的整体发展，欠发达地区会逐渐形成这方面的能力。“试点一定不是齐步走、一起走，必然会有先行先试的过程。谁成熟谁来做，然后在做的过程中，把经验传授给别人，在发展中逐渐完善进行试点的条件。”李景明说。(李玲别凡)

## 国际可再生能源署：光伏、风电成可再生能源增长主力

中国能源报 2023.4.3

近日，国际可再生能源署（IRENA）发布《2023年可再生能源装机容量统计》报告显示，

到 2022 年底，全球可再生能源发电总装机容量达 33.72 亿千瓦，增装机量达 2.95 亿千瓦，同比涨幅达 9.6%，刷新历史最高纪录。不仅如此，在去年全球新增电力装机容量中，以光伏、风电为主的可再生能源新增装机占比达到 83%，维持绝对主力地位。

### 中国引领全球可再生能源装机增长

IRENA 数据显示，2022 年，亚洲、北美以及欧洲可再生能源装机增速表现不俗。其中，亚洲新增装机超过全球一半，总量达到 1.749 亿千瓦，可再生能源装机量同比涨幅高达 12%。中国可再生能源装机增量达到 1.41 亿千瓦，成为引领区域乃至全球可再生能源装机增长的主要动力。

同期，中东是全球可再生能源装机增长最快的地区，去年共增加 320 万千瓦可再生能源发电装机，增幅达到 12.8%。除此以外，2022 年，非洲可再生能源装机增量达到 270 万千瓦，较前年出现小幅提升；南美地区可再生能源装机增量则达到 1820 万千瓦，同样维持向上势头。欧洲和北美地区可再生能源装机增量分别为 5730 万千瓦和 2910 万千瓦。

该机构分析指出，去年，可再生能源发电量以及装机占比增长，一方面得益于全球各国加大可再生能源应用力度，另一方面则是由于多国出现非可再生能源大规模退役情况，推高了可再生能源利用需求。

IRENA 总干事弗朗西斯科·拉·卡梅纳认为：“全球很多地区能源需求都在持续增长，能源转型需要阶段性转变，不仅推动供应侧脱碳，更需要战略转变。任何新增非可再生能源都应该对能源转型有所助力，让能源系统变得更加有韧性、包容性，并提高应对气候变化的能力。”

### 光伏、风电是绿电增长绝对主角

从过去一年各种可再生能源种类发展情况来看，光伏和风力发电成为当前全球新增发电产能的绝对“主角”。

数据显示，2022 年，太阳能和风力发电新增装机占到可再生能源发电装机增量的 90% 以上。其中，全球范围内，去年太阳能发电装机增速最为明显，总装机量同比涨幅高达 22%，而在太阳能应用中，光伏发电新增装机量高达 1.91 亿千瓦，表现尤为突出。对比之下，风力发电装机增速相对平缓，去年全球新增风力发电装机量为 7500 万千瓦，总装机增幅约为 9%。

水电仍是当前全球装机占比最高的可再生能源，2022 年，水电装机容量增加 2100 万千瓦，增速维持平稳。除此以外，去年全球生物质能、地热能、离网电力装机容量同样维持上涨趋势。

弗朗西斯科·拉·卡梅纳指出，在能源危机萦绕的当下，全球可再生能源仍创下历史最高纪录，显示出这一市场的韧性。可再生能源领域中有许多大型成功案例，加上有利的政策支持，都让可再生能源在全球能源结构中的份额保持逐年上升趋势。

### 可再生能源装机增速仍有不足

但值得注意的是，弗朗西斯科·拉·卡梅纳称，面对将全球温升控制在 1.5 摄氏度的气候目标，当前创纪录的可再生能源装机增速仍显不足。

IRENA 统计显示，2022 年，全球对能源转型、能效提升等相关技术的投资总额达到 1.3 万亿美元，刷新历史新高，可再生能源领域所获投资额也达到 0.5 万亿美元，但要达成 1.5 摄氏度温升目标，每年针对能源转型等领域的投资总额需要达到 5 万亿美元以上，而每年可再生能源新增装机量也需较当前水平翻两倍以上。

IRENA 进一步指出，到 2030 年，能源转型等领域的累计投资额必须达到 44 万亿美元，其中，针对能源转型技术投资需占到整体的 80%，效率提升、电气化、电网扩张和灵活性这些领域更需要重点关注。

另外，数据同时显示，过去一年里全球可再生能源装机增量仍存在较大的区域性差异，中国、欧盟和美国可再生能源新增装机量占到新增总量的 2/3，其他国家装机增速相对较低。对此，IRENA 建议，为进一步推动能源转型，未来应尝试将公共资金引导到潜力巨大、但难以吸引投资的国家和地区，集中用于支持能源转型基础设施建设，并利用政策框架推动投资，解决持续存在的社会经济差距。另外，也应更加仔细评估新投资决策，在推动能源转型的同时降低资产搁浅的风险。(李丽旻)

## 国家能源局发布《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》

中国能源报 2023.4.3

3 月 31 日，国家能源局发布《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》（以下简称《意见》）。

《意见》指出，到 2030 年，能源系统各环节数字化智能化创新应用体系初步构筑、数据要素潜能充分激活，一批制约能源数字化智能化发展的共性关键技术取得突破，能源系统智能感知与智能调控体系加快形成，能源数字化智能化新模式新业态持续涌现，能源系统运行与管理模式向全面标准化、深度数字化和高度智能化加速转变，能源行业网络与信息安全

保障能力明显增强，能源系统效率、可靠性、包容性稳步提高，能源生产和供应多元化加速拓展、质量效益加速提升，数字技术与能源产业融合发展对能源行业提质增效与碳排放强度和总量“双控”的支撑作用全面显现。

《意见》强调，推动共性技术突破。推动能源装备智能感知与智能终端技术突破，推动能源系统智能调控技术突破，推动能源系统网络安全技术突破。

《意见》同时指出，健全发展支撑体系。增强能源系统网络安全保障能力，推动能源数据分类分级管理与共享应用，完善能源数字化智能化标准体系，加快能源数字化智能化人才培养。（仲能）

## 国家发展改革委等 9 部门印发《“十四五”可再生能源发展规划》

6 月 1 日，国家发展改革委、国家能源局等九部门发布《“十四五”可再生能源发展规划》锚定碳达峰、碳中和与 2035 年远景目标，按照 2025 年非化石能源消费占比 20%左右任务要求，提出了“十四五”主要发展目标

《规划》提出，2025 年，可再生能源消费总量达到 10 亿吨标准煤左右。“十四五”期间，可再生能源在一次能源消费增量中占比超过 50%;2025 年，可再生能源年发电量达到 3.3 万亿千瓦时左右。“十四五”期间，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过 50%，风电和太阳能发电量实现翻倍:2025 年，全国可再生能源电力总量消纳责任权重达到 33%左右，可再生能源电力非水电消纳责任权重达到 18%左右，可再生能源利用率保持在合理水平:2025 年，地热能供暖、生物质供热、生物质燃料、太阳能热利用等非电利用规模达到 6000 万吨标准煤以上。

## 欧盟提高 2030 可再生能源目标

参考消息 2023.3.31

【路透社布鲁塞尔 3 月 30 日电】欧盟谈判人员 3 月 30 日达成政治协议，设定更加雄心勃勃的目标，计划在 2030 年前扩大可再生能源的使用，这是欧盟应对气候变化和结束使用俄罗斯化石燃料计划的一个重要支柱。

欧洲议会成员马库斯·皮珀在推特上发文说，欧盟国家和欧洲议会同意，到 2030 年，由 27 个国家组成的欧盟 42.5%的能源将来自风能和太阳能等可再生能源。

这一政治协议现在必须得到欧洲议会和欧盟国家的批准才能成为法律。这些投票通常是一个形式，会在不作出任何改变的情况下批准协议。

新法律将取代欧盟目前实行的 2030 年前可再生能源占比 32% 的目标。

欧盟 2021 年有 22% 的能源是可再生能源，但各国水平差异明显。

瑞典在欧盟 27 国中领先，可再生能源占比 63%，而在卢森堡、马耳他、荷兰和爱尔兰等国，可再生能源在能源使用总量中占比不到 13%。

快速转向可再生能源对欧盟实现其气候变化目标（包括设定具有法律约束力的目标，2030 年前使温室气体净排放量比 1990 年水平减少 55%）至关重要。

自俄罗斯对乌克兰发动特别军事行动以来，可再生能源目标变得更加重要，因为欧盟已经表示将在 2027 年前结束对俄罗斯化石燃料的依赖，并计划主要通过本地生产的低碳能源来实现。

## 英国智库：2022 年是世界向清洁能源过渡的转折点

中国能源报 2023.4.17

英国能源智库 Ember 4 月 12 日发表最新报告说，2022 年全球发电排放量或已达峰值，预计未来几年将开始下降，而风能和太阳能占全球电力的比重达到创纪录的 12%，这表明电力行业在这一年已经达到向清洁能源过渡的转折点。

这份名为《2023 年全球电力评论》的报告分析了 78 个国家和地区过去一年的电力数据，它们占到全球电力需求的 93%。报告得出结论说，2022 年电力行业的排放量上升了 1.3%，达到历史最高水平。

与此同时，2022 年，所有清洁电力(可再生能源和核电)合计占全球电力的 39%，创历史新高。太阳能发电量增长 24%，连续 18 年成为增长最快的电力来源；风力发电量增长 17%。风能和太阳能在全球电力结构中的占比从 2021 年的 10% 上升到 2022 年的 12%，获得创纪录增长，未来有望继续增长。目前，有超过 60 个国家和地区 10% 以上的电力来自风能和太阳能。

报告预测说，2023 年清洁能源的增长可能会超过电力需求的增长。根据电力需求和清洁能源的平均增长，预计 2023 年化石燃料发电量将小幅下降，未来几年将出现更大降幅。这也意味着 2022 年的全球电力排放量已达“峰值”，电力行业即将迎来排放下降的新阶段。

（郭爽）

# 中国风能太阳能资源年景公报（2022年）

中国能源报 2023.4.10

## 编者按

精准掌握资源情况是风能太阳能实现高效开发的基础。4月4日，中国气象局正式发布《中国风能太阳能资源年景公报（2022年）》（以下简称《公报》）。《公报》由中国气象局风能太阳能中心组织编制，全面分析了2022年全国风能太阳能资源情况和相对于近10年、30年平均资源量的变化情况。本报特摘编主要内容，以飨读者。

## 一、风能资源

### （一）10米高度

2022年，全国10米高度年平均风速较近10年平均值偏小0.82%，较2021年偏小0.96%，属正常略偏小年景。

从空间分布来看，地区差异性较大。海南、河北、江苏、贵州、云南、西藏、山东、青海、上海、新疆10个省（区、市）总体偏小，其中海南、河北、江苏、贵州、云南5个省（区、市）明显偏小；重庆、江西、湖北、吉林、黑龙江、福建、四川、湖南8个省（区、市）总体偏大，其中重庆明显偏大；其它省（区、市）基本正常。

### （二）70米高度

#### 1. 风速

2022年，我国70米高度平均风速约为5.4m/s。从空间分布看，东北大部、华北北部、内蒙古大部、宁夏中南部、陕西北部、甘肃西部、新疆东部和北部的部分地区、青藏高原大部、云贵高原和广西等地的山区、东南沿海等地年平均风速一般大于6.0m/s，其中，东北东部、内蒙古中东部、新疆北部和东部的部分地区、甘肃西部和北部、青藏高原大部等地年平均风速达到7.0m/s，部分地区达到8.0m/s以上。山东西部及东部沿海、江苏大部、安徽东部等地年平均风速为5.0m/s—6.0m/s。我国其他地区年平均风速一般低于5.0m/s，主要分布在中部和东部平原地区及新疆的盆地区域。

与近10年相比，新疆北部和西南部、青海中部、甘肃北部、云南大部、贵州南部、广西沿海、广东南部、海南北部、江苏大部、山东大部、河北大部、内蒙古西部和中部的部分地区年平均风速偏小，其中新疆北部、河北大部、山东北部、江苏南部、云南北部等地年平均风速明显偏小。黑龙江北部、吉林东部、四川东部、重庆、广西北部、广东西部、福建大

部、湖南北部、湖北西部、河南南部等地年平均风速偏大，其中吉林东部、四川东部、重庆、湖南北部、湖北西部、广东西部等地年平均风速明显偏大。其他地区年平均风速接近正常。

## 2.风功率密度

2022年，全国70米高度年平均风功率密度为193.1W/m<sup>2</sup>。从空间分布看，东北大部、华北大部、青藏高原大部、云贵高原、西南地区和华东地区的山地、东南沿海等地年平均风功率密度一般超过200W/m<sup>2</sup>。其中，内蒙古中东部、黑龙江东部、河北北部、山西北部、新疆北部和东部、青藏高原和云贵高原的山脊地区等地超过300W/m<sup>2</sup>。我国其他地区年平均风功率密度一般低于200W/m<sup>2</sup>，其中中部和东部平原地区及新疆的盆地地区低于150W/m<sup>2</sup>。

与近10年相比，新疆北部、青海中部、云南北部、贵州南部、河北北部和南部、山东大部、江苏南部、浙江东北部沿海等地年平均风功率密度偏小。黑龙江南部、吉林东部、四川东部、重庆、湖北东南部、湖南西北部、广西南部的一部分地区、福建东部的一部分地区年平均风功率密度偏大。其他地区年平均风功率密度接近正常。

## 3.各省（区、市）风能资源

2022年，各省（区、市）70米高度年平均风速在4.0m/s—6.5m/s之间，其中，黑龙江、吉林、内蒙古3个省（区）年平均风速达到6.0m/s以上。各省（区、市）70米高度年平均风功率密度在85.2W/m<sup>2</sup>—284.4W/m<sup>2</sup>之间，其中，甘肃、新疆、西藏、辽宁、黑龙江、吉林、内蒙古7个省（区）年平均风功率密度达到200W/m<sup>2</sup>以上。

与近10年相比，2022年多数省（区、市）年平均风速接近平均值，上海、河北、云南、江苏、山东、海南、宁夏、北京、贵州、青海、天津11个省（区、市）偏小；重庆、福建、湖北、吉林4个省（区、市）偏大。2022年多数省（区、市）的年平均风功率密度接近平均值，偏小的地区有上海、云南，偏大的地区有重庆。

与2021年相比，2022年山西、宁夏、江苏、山东、河北、天津、内蒙古、西藏、河南9个省（区、市）年平均风速偏小，云南明显偏小，湖北、江西、湖南3个省（区、市）年平均风速偏大，重庆明显偏大，其他省（区、市）70米高度年平均风速与2021年接近。2022年云南、山西、宁夏、江苏4个省（区、市）年平均风功率密度偏小，重庆年平均风功率密度偏大，其他省（区、市）与2021年接近。

### （三）100米高度

#### 1.风速

2022年，我国100米高度年平均风速约为5.7m/s。从空间分布看，东北大部、内蒙古、

华北北部、华东北部、宁夏中南部、陕西北部、甘肃西部、新疆东部和北部的部分地区、青藏高原、云贵高原和广西等地的山区、中东部地区沿海等地年平均风速大于 6.0m/s，其中，东北西部和东北部、内蒙古中部和东部、新疆北部和东部的部分地区、甘肃西部、青藏高原大部等地年平均风速达到 7.0m/s，部分地区达到 8.0m/s 以上。

## 2.风功率密度

2022 年，全国 100 米高度年平均风功率密度为 227.4W/m<sup>2</sup>。从空间分布看，内蒙古中东部、黑龙江东部、吉林西部及东部的部分地区、河北北部、山西北部、新疆北部和东部的部分地区、青藏高原大部、云贵高原的山脊地区、福建东部沿海等地年平均风功率密度一般超过 300W/m<sup>2</sup>。除华东中部和西部、四川盆地、陕西南部、云南西南部、西藏东南部、新疆南疆盆地等地的部分地区年平均风功率密度小于 150W/m<sup>2</sup>，其余我国大部年平均风功率密度一般都超过 150W/m<sup>2</sup>。

## 3.各省（区、市）风能资源

2022 年，各省（区、市）100 米高度年平均风速在 4.3m/s—7.0m/s 之间，有 22 个省（区、市）年平均风速超过 5.0m/s，其中辽宁、黑龙江、吉林、内蒙古、西藏、上海、青海 7 个省（区）年平均风速超过 6.0m/s。各省（区、市）100 米高度年平均风功率密度在 98.64W/m<sup>2</sup>—350.59W/m<sup>2</sup> 之间，有 23 个省（区、市）年平均风功率密度超过 150W/m<sup>2</sup>，其中 13 个省（区、市）年平均风功率密度超过 200W/m<sup>2</sup>，吉林、内蒙古 2 个省（区、市）年平均风功率密度超过 300W/m<sup>2</sup>。

# 二、太阳能资源

## （一）水平面太阳能资源

### 1.全国平均年水平面总辐照量较常年偏大

2022 年，全国太阳能资源总体为偏大年景。全国平均年水平面总辐照量为 1563.4kWh/m<sup>2</sup>，为近 30 年最高值，较近 30 年平均值偏大 45.3kWh/m<sup>2</sup>，较近 10 年平均值偏大 54.0kWh/m<sup>2</sup>，较 2021 年偏大 70.0kWh/m<sup>2</sup>。

### 2.水平面总辐照量西部地区大于中东部地区

我国太阳能资源地区性差异较大，呈现西部地区大于中东部地区，高原、少雨干燥地区大，平原、多雨高湿地区小的特点。

根据我国太阳能资源总量等级划分标准，2022 年，新疆大部、西藏、西北、西南西部、内蒙古大部、华北、华中大部、华东大部、华南大部地区年水平面总辐照量超过 1400kWh/m<sup>2</sup>，其中，西藏大部、青海中部及北部局部地区年水平面总辐照量超过

1750kWh/m<sup>2</sup>，为太阳能资源最丰富区；新疆大部、内蒙古大部、西北中部及东部、华北、华东、华南东部等地年水平面总辐照量 1400kWh/m<sup>2</sup>—1750kWh/m<sup>2</sup>，为太阳能资源很丰富区；东北东部、四川东部、重庆、贵州、湖南西部、广西北部及东部等地年水平面总辐照量 1050kWh/m<sup>2</sup>—1400kWh/m<sup>2</sup>，为太阳能资源丰富区。全国年水平面总辐照量几乎全大于 1050kWh/m<sup>2</sup>，基本无太阳能资源一般区。

### 3.水平面总辐照量西部较常年偏小、东部偏大

全国年水平面总辐照量距平分布有地区性差异，总体来看，西部地区较常年偏小，东部地区较常年偏大。

与近 30 年水平面总辐照量平均值相比，2022 年新疆北部、西藏东南部、黑龙江、吉林、辽宁等地偏大，山西、陕西、山东等局部地区明显偏大，河北、北京、天津、陕西南部、山西、四川东部、重庆、云南北部、贵州、广西、湖南、湖北、河南、安徽、江西、广东、福建、浙江、江苏等地异常偏大。

新疆西南部及东部、青海中部及西部、四川西部、云南西部、内蒙古西部偏小；新疆南部、西藏西部、青海中部、内蒙古西北部明显偏小；西藏西部等地异常偏小。

从各省（区、市）分布来看，甘肃、内蒙古、宁夏、海南年水平面总辐照量与近 30 年均值较接近，云南、辽宁、黑龙江、吉林偏大，山东明显偏大，河北、山西、四川、北京、陕西、江苏、天津、上海、广西、河南、广东、浙江、福建、安徽、贵州、湖北、江西、湖南、重庆异常偏大，新疆、青海偏小，西藏明显偏小。

## （二）固定式光伏发电太阳能资源

固定式光伏发电可利用的太阳能资源是光伏组件按照最佳倾角放置时能够接收的太阳总辐照量（简称“最佳斜面总辐照量”）。根据目前国内的设计经验，按照 80%的总系统效率，计算出固定式光伏电站的首年利用小时数。

### 1.全国平均年最佳斜面总辐照量较常年偏大

2022 年，全国平均年最佳斜面总辐照量为 1815.8kWh/m<sup>2</sup>，较近 30 年平均值偏大 40.8kWh/m<sup>2</sup>，较近 10 年平均值偏大 50.8kWh/m<sup>2</sup>，较 2021 年偏大 67.1kWh/m<sup>2</sup>；2022 年全国平均的固定式光伏电站首年利用小时数为 1452.7 小时，较近 30 年平均值偏多 32.7 小时，较近 10 年平均值偏多 40.7 小时，较 2021 年偏多 53.7 小时。

### 2.最佳斜面总辐照量和光伏发电首年利用小时数西部地区大于中东部地区

全国年最佳斜面总辐照量及光伏发电首年利用小时数空间分布，总体上呈现西部地区大于中东部地区，高原、少雨干燥地区大，平原、多雨高湿地区小的特点。

2022年，除四川东部、重庆、贵州、湖南西部等地外，我国大部分地区最佳斜面总辐照量超过1400kWh/m<sup>2</sup>，首年利用小时数在1100小时以上，其中，新疆、西藏、青海、甘肃北部、四川西部、内蒙古、宁夏北部、陕西北部、山西北部、河北、北京、天津、东北地区东部等地年最佳斜面总辐照量超过1800kWh/m<sup>2</sup>，首年利用小时数在1500小时以上；四川东部、重庆、贵州、湖南西部等地在1000kWh/m<sup>2</sup>—1400kWh/m<sup>2</sup>之间，首年利用小时数一般低于1100小时。

### 3.最佳斜面总辐照量西部较常年偏小、东部偏大

全国最佳斜面总辐照量距平分布有地区性差异，总体来看，西部地区较常年偏小，东部地区较常年偏大。

从各省（区、市）分布来看，新疆、海南、甘肃、云南4个省（区、市）最佳斜面总辐照量接近于近30年平均值；宁夏、内蒙古偏大，辽宁、黑龙江明显偏大，吉林、山东、四川、河北、陕西、山西、江苏、北京、上海、广西、广东、河南、天津、浙江、福建、贵州、湖北、安徽、江西、湖南、重庆异常偏大；青海偏小，西藏异常偏小。

## 高比例新能源催生逆变器技术革新

中国能源报 2023.4.10

日前，由中国电力企业联合会、中国光伏行业协会主办的PAT2023先进技术研讨会在合肥举行。记者从会上了解到，当前，风光大基地项目正面临投资成本高、建设周期长、设备可靠性不足等问题。多位业内专家指出，技术创新将是解决诸多问题的关键动力。其中，光伏逆变器作为光伏发电中的关键电力电子设备，也将担负更多责任。

### ●●高比例光伏下逆变器作用进一步凸显

电力设计规划总院最新发布数据显示，2022年，全国风电、太阳能发电新增装机达1.25亿千瓦；截至2023年2月，我国风电、太阳能发电累计装机达7.8亿千瓦，其中，太阳能发电装机高达4.1亿千瓦。

光伏发电已成长为推动发电装机增长的“主力”。据智汇光伏创始人王淑娟介绍，2022年，国内新增光伏装机高达8741万千瓦，创历史新高；同时，光伏已经占全国当年新增电力装机的45%，成为新增装机占比最高的电源。

面对构建新型能源体系的要求，在电力设计规划总院副总工程师王霁雪看来，光伏逆变器注定将承担越来越多责任。“电在新型能源体系中发挥的作用正逐步提高，在构建高比例

可再生能源和高比例电力电子化系统时，逆变器作为其中关键设备，作用将进一步凸显。”

### ●●模块化逆变器解决行业发展痛点

王霁雪指出：“一方面，从技术角度来看，一直以来光伏逆变器主要承担‘桥梁’作用，将太阳能资源转化为清洁、经济的能源供给；另一方面，在构建新型电力系统过程中，需要更多考虑系统平衡和稳定等问题，光伏逆变器要承担更多功能。”

随着我国光伏全产业链发展壮大，光伏逆变器技术已经历数代变迁。阳光电源光储集团副总裁史晓锋告诉《中国能源报》记者，近年来，光伏逆变器技术快速变革，功率不断增加的同时，还出现了系统设计相对灵活的组串式逆变器。但如今面对高比例光伏的接网要求、走入“沙戈荒”等更多复杂严苛的环境，光伏逆变器已无法局限于传统样式，需要在进一步降低度电成本的情况下，更加适应能源系统发展需求。

“为解决这些难题，阳光电源将集中式逆变器和组串式逆变器的特点与优势结合起来，推出‘1+X’模块化逆变器，将单个单元定义为1.1兆瓦，类似于搭积木一样进行模块化设计，既能够灵活组成2.2兆瓦、3.3兆瓦、4.4兆瓦直至8.8兆瓦，还能够达成低成本、方便运维的目的。”史晓锋表示，“模块化逆变器的系统成本较组串式逆变器有所降低，且从运维上可以更加便捷，同等条件下发电量也有所提升。设备模块化设计和应用技术的深度创新将成为未来趋势，不仅可以最大化适配未来多种复杂环境建站，更能够提升整体运维效率，大幅降低度电成本，实现电站投资收益最大化。”

### ●●下一代逆变器技术走向何方？

在业界看来，新型能源体系构建是传统化石能源与新型清洁能源此消彼长、互补融合的过程，是一项动态的复杂系统工程，而技术赋能、推动多能融合是解决上述问题的关键举措。

“降本增效是光伏行业永恒的主题。”史晓锋指出，“从未来行业需求来看，光伏逆变器将不断追求度电成本下降，高压、高功率密度也将成为光伏逆变器技术发展的一大方向。”

史晓锋提示，面向庞大的风光大基地项目，光伏逆变器智能化需求也在逐步提升。“从长期运维来看，主要位于‘沙戈荒’地区的光伏项目运维存在较大挑战，逆变器智能化将有助于光伏项目实现自我诊断、自我判断，给出具体运维要求，从而实现快速响应维护。”

王霁雪认为，面对新型能源体系的发展要求，光伏逆变器除了要发挥传统“桥梁”作用外，从适应电网到构网能力的变化更将是未来逆变器技术发展的关键所在。

史晓锋也表示，随着新能源、电力电子等设备接入比例不断提升，电力系统稳定性将迎来更大挑战。未来光伏设备行业将围绕算力和算法两个维度不断创新，通过大数据、高算力、智能算法的结合，使新能源设备的并网特性从目前的弱网适应，逐步走向主动支撑、智能构

网，实现系统自愈。(李丽旻)

大规模开发 高水平消纳

## 可再生能源开启多能协同发展新格局

6000 万千瓦特高压通道配套新能源基地已获批

中国能源报 2023.4.17

随着可再生能源进入大规模、高比例、市场化、高质量发展的新阶段，多能协同将成为重塑能源格局的主要内容。

“十四五”期间，可再生能源发展以区域布局优化发展，以重大基地支撑发展，以示范工程引领发展，以行动计划落实发展。

“‘十四五’可再生能源发展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‘双碳’目标提供主力支撑。随着我国可再生能源进入大规模、高比例、市场化、高质量发展的新阶段，多能协同发展将成为重塑能源格局的主要内容。”水电水利规划设计总院总规划师张国益 4 月 12 日在第八届中国能源发展与创新论坛上表示。

《中国能源报》记者了解到，围绕国家“十四五”电力规划拟定的特高压输电通道，一批新能源大基地目前正加速建设。在高速发展的状态下，可再生能源产业竞争力不断增强，目前不仅已构建全产业链系统，而且呈现出市场主体多、竞争充分、创新活力强的产业生态。业内专家预测，未来我国可再生能源将进入大规模开发和高水平消纳并存的新格局。

### ■ ■ 全产业链体系已构建

近年来，我国风光装机连续三年超过 1 亿千瓦，可再生能源装机去年底突破 12 亿千瓦，非化石能源装机占比接近一半。业内专家一致认为，凭借政策支持和技术进步，我国可再生能源实现跃升式发展的同时，成功构建起全产业链体系，而且光伏治沙、“农业+光伏”、可再生能源制氢等新模式新业态不断涌现。

按照国家能源局预计，到 2025 年，我国风电和太阳能发电量将在 2020 年的基础上翻一番，在全社会新增用电量中，可再生能源电量占比将超过 80%。

“我国已具备完备的可再生能源全产业链体系，未来无论是规模还是技术都将站在世界舞台中心。”中国三峡新能源（集团）股份有限公司董事会秘书兼总审计师刘继瀛表示，“以我国光伏组件、风电整机、动力电池为例，三个产业链已具备全球领先地位，世界排名前十

的企业中，中国企业处于优先位置，且排名第一的企业均为中国上市公司。”

在隆基绿能科技股份有限公司党委书记、副总裁李文学看来，未来光伏将在全球能源转型中扮演重要角色。“2050年世界能源结构中，电力将成为主要能源载体，占比达到51%。其中，光伏发电将占可再生能源为主的电力系统的近50%。”

### ■ ■ 多个特高压配套大基地获批

为推动风光等可再生能源大规模发展，我国正大力推进大型风光基地建设。

“我国正在以风光资源为牵引，以跨省跨区输电通道为依托，以灵活调节电源为支撑，建设以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏发电基地。到2030年，规划建设风光大基地总装机达到4.55亿千瓦。”张益国表示，“十四五”期间，我国可再生能源将由能源电力消费增量补充转为增量主体，在能源消费中的占比迅速提升，既大规模开发，也实现高水平消纳。

张益国指出，“十四五”期间，可再生能源发展以区域布局优化发展，以重大基地支撑发展，以示范工程引领发展，以行动计划落实发展。“例如，围绕‘十四五’电力规划拟定的‘三交九直’特高压输电通道，重点关注通道可再生能源占比要求，结合送端的新能源分布及布局，按风光调储的开发思路，布局一批新能源基地。”

《中国能源报》记者采访获悉，截至目前，国家能源局已批复哈密-重庆、宁夏-湖南等6条特高压通道配套的新能源大基地，规模超过6000万千瓦。另外，还有多条可再生能源基地外送通道正在审批中。

### ■ ■ 技术创新驱动降本增效

在业内人士看来，可再生能源技术创新已成为能源转型的加速器，其中技术提升是当前可再生能源高质量发展的关键。以我国最具核心竞争力的产业之一——光伏产业为例，目前该产业已具备全球领先优势，不仅在产品产量、装机总量、新增装机等方面位居全球第一，更培育了全球最完整的产业链。

“自2010年以来，光伏发电度电成本下降已超过90%，成为目前全球绝大多数国家最经济的电力能源。”李文学透露，2021年4月，沙特某光伏发电项目最低电价已达到1.04美元/千瓦时，折合人民币0.067元/千瓦时。同年6月，国家电投四川电力有限公司以最低价0.1476元/千瓦时中标四川甘孜州正斗一期20万千瓦光伏基地，创国内光伏电站上网电价最低纪录。“未来光伏发电成本还将下降，技术持续进步是成本下降的最大推动力。”

刘继瀛也认为，技术创新成就了中国光伏行业十年攻坚路，彼时仍是后起之秀的隆基、晶科、通威、协鑫等企业，通过不断加大科技创新投入，促使技术迭代带来明显的成本优势。

“过去十年，光伏成本实现了下降近 80%。”

“风电方面，我国陆上和海上风电均全面进入平价时代，产业链上下游坚持创新驱动发展，无论是机组容量大型化、高塔筒低风速、漂浮式，还是‘源网荷储一体化’‘风光打捆配套火电’‘风能+储能’‘风能+氢能’‘海上风电+海洋牧场’等模式创新，都有力拓展了开发场景，促进成本下降。”刘继瀛说。(苏南)

## 2023 年能源工作指导意见

中国电力报 2023.4.17

近日，国家能源局发布《2023 年能源工作指导意见》（以下简称《意见》），围绕 2023 年能源工作提出 3 个主要目标、6 方面重要工作，并明确全国能源生产总量达到 47.5 亿吨标准煤左右，非化石能源占能源消费总量比重提高到 18.3%左右等具体要求。

《意见》以“四个坚持”为基本原则。坚持把能源保供稳价放在首位。强化忧患意识和底线思维，加强国内能源资源勘探开发和增储上产，积极推进能源资源进口多元化，以常态能源供应有弹性应对需求超预期增长，全力保障能源供应持续稳定、价格合理可控。坚持积极稳妥推进绿色低碳转型。深入推进能源领域碳达峰工作，加快构建新型电力系统，大力发展非化石能源，夯实新能源安全可靠替代基础，加强煤炭清洁高效利用，重点控制化石能源消费，扎实推进能源结构调整优化。坚持创新驱动提升产业现代化水平。深入实施创新驱动发展战略，补强能源产业链薄弱环节，狠抓绿色低碳技术攻关，加快能源产业数字化智能化升级，提高能源产业链安全保障能力，增强能源产业竞争新优势。坚持高水平改革开放增强发展动力。深入推进能源体制改革，依托我国超大规模市场优势坚定不移推动高水平对外开放，充分发挥市场在能源资源配置中的决定性作用，更好发挥政府作用，不断增强能源高质量发展的动力和活力。

《意见》提出 2023 年能源工作的 3 个主要目标。一是供应保障能力持续增强。全国能源生产总量达到 47.5 亿吨标准煤左右，能源自给率稳中有升。原油稳产增产，天然气较快上产，煤炭产能维持合理水平，电力充足供应，发电装机达到 27.9 亿千瓦左右，发电量达到 9.36 万亿千瓦时左右，“西电东送”输电能力达到 3.1 亿千瓦左右。二是结构转型深入推进。煤炭消费比重稳步下降，非化石能源占能源消费总量比重提高到 18.3%左右。非化石能源发电装机占比提高到 51.9%左右，风电、光伏发电量占全社会用电量的比重达到 15.3%。稳步推进重点领域电能替代。三是质量效率稳步提高。单位国内生产总值能耗同比降低 2%

左右。跨省区输电通道平均利用小时数处于合理区间，风电、光伏发电利用率持续保持合理水平。新设一批能源科技创新平台，短板技术装备攻关进程加快。

《意见》明确 2022 年能源工作的 6 方面重要工作。

一是着力增强能源供应保障能力。立足我国能源资源禀赋，进一步夯实化石能源兜底保障基础，大力提升能源安全稳定供应水平，有效应对能源市场波动和风险挑战。夯实化石能源生产供应基础，提高能源系统调节能力，强化安全风险管控。

二是深入推进能源绿色低碳转型。巩固风电光伏产业发展优势，持续扩大清洁低碳能源供应，积极推动生产生活用能低碳化清洁化，供需两侧协同发力巩固拓展绿色低碳转型强劲势头。大力发展风电太阳能发电，积极推进核电水电项目建设，加强化石能源清洁高效开发利用，积极推动能源消费侧转型，加快培育能源新模式新业态。

三是提升能源产业现代化水平。强化科技对能源产业发展的支撑，加快补强能源产业短板弱项，实施一批原创性引领性能源科技攻关，推动能源产业基础高级化和产业链现代化。加强关键技术装备攻关，巩固拓展战略性优势产业，加快能源产业数字化智能化升级。

四是扎实推动区域能源协调发展。深入实施区域协调发展战略、区域重大战略、乡村振兴战略，优化区域能源生产布局和基础设施布局，提升区域自平衡能力和跨区域互济能力。服务支撑区域重大战略，强化能源建设助力乡村振兴，增强区域能源资源优化配置。

五是加强能源治理能力建设。完善能源法律法规和政策体系，深入推进能源“放管服”改革，优化管理方式，提升服务实效，释放改革红利，不断提升能源治理效能。健全能源法规政策体系，加强能源规划实施监测，深化重点领域改革，强化能源行业监管。

六是扩大能源领域高水平开放合作。坚持共商共建共享，深入推进互利共赢务实合作，增强国内国际两个市场两种资源联动效应，提升能源开放合作质量和水平，不断开创能源国际合作新局面。保障开放条件下的能源安全，着力加强清洁能源合作，深化能源国际交流与合作。

## 农村清洁取暖既要降本还要降碳

中国能源报 2023.4.24

农村清洁供暖如何经受降碳和降本的双重考验？“因地制宜，充分依靠农村丰富的屋顶光伏和生物质资源。”在日前举行的“第四届全球生物质能创新发展高峰论坛”会上，与会专家针对我国北方地区的清洁供暖问题，给出了这样的解决路径。

## ●问题逐渐显露

“农村建筑领域每年排放总量约4亿吨，占建筑运行排放的20%、全国碳排放总量的4%。”住房和城乡建设部科技与产业化发展中心高级工程师侯隆澍介绍说，农村住宅领域是煤炭消费的重要市场，北方地区需求尤其旺盛，农村常住人口占全国农村人口总量的42%，消费了近70%的农村住宅用煤炭。

随着近年清洁取暖改造的不断深化，政策配套体系逐渐完善，截至2021年底，华北地区基本基本实现清洁取暖试点的全覆盖，实现2600余万户的清洁取暖，清洁取暖率达到70%，但一些问题也暴露出来。

清洁取暖改造目标正从“减少污染”转向“降低碳排放”。据侯隆澍介绍“结合调研数据和宏观统计数据，我们发现农村生活领域清洁取暖的降碳效果并不是特别明显。”目前，北方地区大约已经完成1000-1200万户“煤改电”，但其中的热泵使用率不足30%，剩下的依靠电直热取暖。“北方地区的电力有一个明显特点就是碳排放高。其中山西是传统的煤电基地，内蒙古清洁电力70%都外输了。这导致有些地方的碳排放不降反增，需要进一步优化和完善农村清洁取暖技术路径。改造项目对部分地区的县级财政造成了一定压力，承担着较大的经济负担。”

## ●降碳需因地制宜

清华大学建筑学院副院长、教育部特聘教授杨旭东坦言：“关键问题在于很多地方在设置清洁取暖技术路径的时候没有认真研究和优化，只做一些简单处理就美其名为多能互补。”他建议，农村的清洁取暖改造应遵循“四个一”原则，即“改造成本不超过一万元”“年运行费不超过一千元”“设备简单易用一键式操作”以及“地区做好统一规划”。

“我们在一个北方省份做了大量调研，总结出了44类农宅的标准样式，并给出所有可能的建筑节能改造方案，不同方案间有很大差别，同样1万元的投资，最差的只有10%的节能效果，而最好的却能达到45%。”杨旭东说。

农村清洁取暖如何实现降碳目标呢？杨旭东这样解释，未来农村取暖应该推动散煤、直接燃烧生物质、市政电等高碳排放模式的逐步退出，同时要推广屋顶光伏发电、生物能和其他可能生能源的利用。“全国农村屋顶光伏资源一年能产生20多亿度电，作为生物质资源的秸秆，一年的产量等同于4亿吨标准煤、8亿吨燃料，未来农村的清洁取暖就要依靠于这些丰富的自然资源。光伏方面利用光储直柔优先满足自用，依靠电力满足供暖等生活需求，并推动余电有序上网。生物质资源则要走燃料化、市场化的路线，让其能够迅速燃烧并实现近零排放，同时打通生物质商品化供能网络，让其真正走入市场。”

据重庆大学土木工程学院副院长刘猛介绍，由于气候和房屋构造，冬季湿冷的长江流域也有着很大的冬季取暖需求，目前南方冬季取暖更多依靠电热油汀、小太阳和空调等依靠电力的设备。“目前，农村取暖消耗的电力占总供应能力的 50%，继续增加的话可能会达到 60%-80%的水平，接近现有供电能力的上限。”刘猛建议，长江流域应加快农村屋顶光伏开发和生物质能源产业化发展，丰富冬季取暖电力来源的同时，还可以为农户增收。(杨沐岩)

## 二、热能、储能、动力工程

### 液体形式存在的压电材料首现

科技日报 2023.4.3

美国密歇根州立大学化学家首次在液体中观察到了压电效应。研究团队指出，液体压电材料比固体压电材料更环保，有望在多个领域“大显身手”。相关研究刊发于最新一期《物理化学快报》杂志。

到目前为止，所有压电材料都是固体的。这种材料之所以被称为压电材料，是因为它们具有正常情况下保持电荷，在承受压力时释放电荷的特性。这些固体压电材料目前被广泛用于声呐设备、吉他拾音器和手机扬声器等产品中。在最新研究中，密歇根州立大学化学家伊克巴勒·侯赛因等人发现了迄今第一种在室温下以液体形式存在的压电材料。

最新发现的液体压电材料是一种离子液体，离子液体由具有不对称性的柔性有机阳离子和具有对称性的弱配位阴离子的盐制成。电在这些离子液体内部积聚，研究人员在用活塞向圆柱体内的离子液体样本施加压力时发现，电被释放出来。他们还发现，释放的电量与施加的压力成正比。进一步的测试表明，离子液体的光学性质在其释放电流时发生了变化，在某些情况下，液体弯曲光线的方式也发生了变化。

研究团队目前仍无法解释为什么离子液体具有压电效应，但他们认为，施加压力可能有助于分离液体中的电荷，从而释放出一些电荷。他们计划继续研究这些材料，以获得答案。

### 首个嵌入织物的纤维泵制成或改变可穿戴技术游戏规则

科技日报 2023.4.3

许多基于流体的可穿戴辅助技术需要将一个大而嘈杂的泵整合到衣服中，这导致可穿戴设备与不可穿戴的泵捆绑在一起。现在，瑞士洛桑联邦理工学院研究人员开发出世界上第一台纤维形式的泵，这种光纤泵可被直接缝合到纺织品和服装上，重量轻，功能强大，还可水

洗。这项创新可应用于从外骨骼到虚拟现实等领域，或将改变可穿戴技术的游戏规则。论文发表在最新一期《科学》杂志上。

新研究是在研究人员 2019 年开发的可伸缩泵基础上进行的。光纤形式使研究人员能够制造更轻、更强大的泵，与可穿戴技术更兼容。光纤泵使用电荷注入电流体动力学的原理，在没有任何移动部件的情况下产生流体流动。嵌入泵壁的两个螺旋电极对一种特殊的非导电液体的分子进行电离和加速。离子运动和电极形状产生净正向流体流动，从而实现安静、无振动的操作，并且只需要手掌大小的电源。

为了实现泵的独特结构，研究人员开发了一种新的制造技术，将铜线和聚氨酯线缠绕在钢棒上，然后将它们热熔化。去除钢棒后，可使用标准编织和缝纫技术将 2 毫米纤维整合到纺织品中。这种泵本质上是一种能产生自身压力和流量的管道。

该泵的简单设计具有许多优点。所需的材料便宜且容易获得，扩展制造过程也比较轻松。由于泵产生的压力大小与其长度直接相关，因此可根据应用情况对管道进行切割，从而在优化性能的同时将重量降至最低。坚固的设计也使其适用于传统的洗涤剂清洗。

论文还描述了由织物和嵌入式纤维泵制成的人造肌肉，这种肌肉可用来为柔软的外骨骼提供动力，帮助患者移动和行走。该泵甚至可通过模拟温度感觉为虚拟现实世界带来新的维度。在这种情形下，用户戴着一只手套，手套上的泵装满了热的或冷的液体，用户能够感受到与虚拟物体接触时温度的变化。

## 新路线进一步释放全固态锂电池潜力

中国科学报 2023.3.29

中国科学技术大学教授马骋提出了一种关于全固态电池正极材料的新型技术路线，可以大幅提升复合物正极中的活性物质载量，从而更充分地发挥出全固态锂电池在能量密度上的潜力。相关研究成果近日发表于《自然-通讯》。

全固态锂电池由于用不可燃的无机固态电解质替代了有机液态电解质，因此相较目前商业化锂离子电池而言，具有更高的安全性和更大的能量密度提升空间。

为了充分发挥全固态电池性能，其正极材料至少需要满足两个条件——优秀的离子电导率、良好的可变形性。但这两点很难在目前商业化锂离子电池所使用的钴酸锂、磷酸铁锂等氧化物材料中实现。

此次研究中，马骋课题组采用非常规材料设计思路，选择氯化物构筑了一种全固态锂电

池的新型正极材料——氯化钛锂。研究发现，氯化钛锂极为柔软，经过冷压即可达到 86.1% 以上的相对密度，而且它的室温离子电导率高达 1.04 毫西门子每厘米，远超氧化物正极材料，甚至与电池中主要负责离子传输的固态电解质材料相比也毫不逊色。

也就是说，由氯化钛锂组成的复合物正极不需要包含太多固态电解质，就可以实现相当高效的离子传输，因此可以实现很高的活性物质载量。在确保良好循环性能的前提下，研究人员成功在氯化钛锂复合物正极中实现了 95% 质量比的活性物质载量，大幅超过了氧化物正极所能达到的极限（通常在 70% 至 80% 质量比）。此外，活性物质载量如此之高的氯化钛锂复合物正极还展示了相当优异的循环性能，在 1 小时完成充电或放电的速率下，它在室温下实现了长达 2500 圈的稳定循环。

这些性能表明，几乎未被探索的、以氯化钛锂为代表的氯化物正极材料，是全固态锂电池中非常有前途的正极“候选者”，能够进一步释放全固态电池在能量密度方面的潜力。

## 科学家证实水结晶可形成立方冰

中国科学报 2023.3.31

3 月 29 日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究员白雪冬、副研究员王立芬团队与北京大学物理学院教授王恩哥、研究员陈基合作，成功实现了以分子级分辨率观测冰的生长结晶过程，发现水结晶可以形成单晶立方冰，并展示了立方冰晶中存在两种不同的缺陷结构。相关论文在线发表于《自然》。

冰是物态最丰富的晶体之一，在目前已发现的 20 种晶相中，仅有六角冰和立方冰可能存在于地球环境。其中，六角冰广泛存在于自然界和人们日常生活中，而立方冰是否存在长期以来具有争议。

王立芬解释，在实验室中，由于生长过程常伴随缺陷，传统的衍射手段难以将立方冰与堆垛无序冰（六角冰与立方冰在堆垛面随机分布的特殊结构）区分开来，人们始终难以给出水结晶可以形成立方冰的直观证据。

基于像差矫正电镜和低剂量电子束成像技术，研究人员展示了 -170°C 左右的低温衬底上气相水凝结成冰晶的过程，发现立方冰在这种低温衬底上的优先形核生长。分子级成像证实了水结晶可以形成各种形貌不一的单晶立方冰。同时，随着时间增加，冰晶整体中六角冰的占比逐渐增加。研究人员分析，这表明异质界面在立方冰的形成中起着重要作用。而自然界中常见的降雪大多是水分子在灰尘矿物质等表面的凝聚生长，这种异质界面无处不在。

研究人员进一步表征了立方冰内部的常见缺陷。以是否引进堆垛无序晶畴为标准，研究人员将立方冰内部的常见缺陷分为两类，并利用电子束的激发效应探究了堆垛无序晶畴部分的结构动力学。实验观测结合分子动力学模拟结果表明，这种富缺陷结构并不稳定，在电子束的扰动下缺陷层发生结构构型的协同扭曲乃至整体的攀爬。

“这项研究创造性地利用透射电镜对冰的形成及动力学行为进行高分辨直接成像，以直观的实验证据证实了水结晶可以形成单晶立方冰，有望提高对冰与自然界关系的新认识。”王立芬告诉《中国科学报》，“我们利用透射电镜将冰的实验研究深入到分子水平，也为其他结构敏感材料研究提供了新思路。”

## 我国科学家刷新锂二次电池能量密度最高值

中国能源报 2023.4.3

可以反复充放电的电池被称为二次电池。通过拓宽充放电电位、运用隔膜涂层技术等综合策略，中国科学院物理研究所的科研人员制成了超 700 瓦时/千克的超高能量密度软包锂离子二次电池。这一数据为已公开报道的锂二次电池的能量密度最高值，相关成果近日以研究快讯形式发表在《中国物理快报》，并已申请我国专利。

经第三方测试，这款超高能量密度软包锂二次电池首次放电质量能量密度达到 711.30 瓦时/千克，体积能量密度达到 1653.65 瓦时/升，这达到了目前已公开报道的锂二次电池的能量密度最高值。

科研人员表示，超高能量密度电池技术将为我国在高空、深空等特殊应用场景，以及未来电动航空领域对高性能电源技术的迫切需求提供可能的解决方案。不过，当前这一技术距离实际应用还有差距，电池安全、寿命等诸多问题仍需解决。

锂离子电池是能量密度高、综合性能最好的电化学储能体系，而提升能量密度是其研发的主要目标。当前，多个国家计划开发 400 至 600 瓦时/千克的锂电池。（刘苏雅）

## 美国：柔性导电聚合物材料会“思考”

中国高新技术产业导报 2023.4.3

美国宾夕法尼亚州立大学和美国空军研究人员创建了会“思考”的柔性导电聚合物材料。这种柔软的聚合物材料可同时感知、思考和作用于机械应力，而不需要额外的电路来处理这种信号。其作用就像一个大脑，可接收数字信息串，然后进行处理，从而产生控制反应的新

数字信息序列。相关研究发表在《自然》杂志上。

该材料包含可重新配置的电路，以实现组合逻辑。当材料受到外部刺激时，它将输入转换为电信息，然后进行处理以产生输出信号。这种材料可使用机械力来完成复杂的算术，或者检测无线电频率来传达特定的光信号及其他潜在的可转换信号。

## 中国钠离子电池研发领先世界

参考消息 2023.4.6

【《日本经济新闻》网站 4 月 4 日报道】题：中国在研发锂离子后继电池方面领先

在用于纯电动汽车和可再生能源的创新型电池开发方面，中国的存在感正在提升。统计过去 10 年的数据可以发现，中国有关专利的数量位居首位（占到一半以上），特别是在被视为最有可能替代锂离子电池的钠离子电池专利方面大幅领先日美。

本报委托三井物产战略研究所进行了分析。截至 2022 年 12 月，该领域的有效专利总计为 9862 项。其中，按国家统计，排在首位的是中国（5486 项），占整体的 50% 以上。其次是日本（1192 项）、美国（719 项）、韩国（595 项）和法国（128 项）。按机构来看，中国的中国科学院和全球最大车载电池制造商宁德时代等七家机构跻身前十。

中国尤其具有优势的是与锂离子电池相比成本更低、安全性更高的钠离子电池。钠的资源丰富，可以减少锂和钴等稀有金属的使用量。虽然容量低于锂离子电池，但材料成本可大幅度下降。

不仅是专利数量，此次分析还评估了考虑“质量”在内的综合指数。根据被其他专利引用的次数等计算，中国以 4930 分居于首位，第二名是美国（2630 分），而日本则以 2260 分排在第三位。

从钠离子电池的相关专利来看，中国的综合分数在 10 年里增加了 100 倍以上，达到美国和日本 2 到 3 倍。宁德时代计划在 2023 年量产钠离子电池，并向纯电动汽车供应。中国在实用化方面也领先一步。

在目前属于主流的锂离子电池的开发竞争中，日本一直处于世界领先地位。欧洲专利局和国际能源署 2020 年发布的报告显示，2014 年至 2018 年，四成锂离子电池的相关专利源自日本。

不过，用于锂离子电池的锂和钴主要产自南美和非洲，随着纯电动汽车等的需求增加，相关原材料的价格飙升。

中国政府正在推动新一代电池的开发。中国《“十四五”能源领域科技创新规划》中提出，作为有助于电网削峰填谷和促进可再生能源利用的技术研发之一，将致力于钠离子电池的研究。

日美虽在总体数量上落后，但仍有优势。日本在有望用于纯电动汽车的“氟化物离子电池”相关专利的综合评价中位居首位。美国则在“镁离子电池”项目上排名第一。

## 受蝴蝶翅膀启发的最轻涂料制成

科技日报 2023.4.6

美国中佛罗里达大学的研究人员从蝴蝶翅膀中汲取灵感，开发出一种自然、环保的新型节能涂料，它能隔热，可以是任意颜色，保留时间长达几个世纪，它也是迄今为止创造的最轻的涂料，这种颜料着色剂替代品有助于节能和减缓全球变暖。相关研究发表在最新一期《科学进展》杂志上。

这种涂料不是由颜料制成的，而是利用无色材料铝和氧化铝的纳米级结构排列来产生颜色的，因此十分环保。通过将它们以不同的方式排列在氧化涂层铝镜的顶部，可以控制光的散射、反射或吸收方式。蝴蝶翅膀的丰富色彩也是类似的原理。

研究团队将其命名为“等离子涂料”。人造颜料的每种颜色都需要新分子，但两种无色材料的几何排列会产生所有颜色。

美国中佛罗里达大学纳米科学技术中心教授德巴希姆·昌达介绍说，正常的颜色会褪色，因为色素会逐渐失去吸收光子的能力。但结构色涂料不受这种现象的限制，一旦涂上，它应该会保留几个世纪。

根据科学家们的计算，只需要 1.4 公斤的等离子涂料就可覆盖一架波音 747 的表面。而用传统商业涂料至少需要 454 公斤才能得到同样的效果。这意味着它可显著减少航空涂料产生的温室气体排放。

此外，研究人员说，由于等离子涂料吸收的热量较少，因此其底层表面比商业涂料覆盖的表面温度要低。美国总发电量的 10% 以上用于空调的使用，这种温差等离子涂料有望显著节约能源，也会减少二氧化碳排放。

研究人员还特别表示，等离子涂料很轻。这是因为这种涂料的面积与厚度之比很大，在只有 150 纳米的涂料厚度下就能实现完全着色，使其成为世界上最轻的涂料。不过，这种涂料距离大规模生产还有很长的路要走。

# 开发可独立供能的摩擦纳米发电机

中国科学报 2023.4.3

近日，国际学术期刊《纳米能源》在线报道了中科院海洋研究所在绿色能源电化学腐蚀防护研究的最新成果。该所海洋环境腐蚀与生物污损重点实验室从推动实现电化学腐蚀防护过程绿色化出发，面向海洋波浪能利用，开发了可独立供能的摩擦纳米发电机阴极保护系统。

金属腐蚀严重影响海洋钢结构服役寿命，电化学防护是延长金属服役年限的重要手段。然而传统的阴极保护存在能源和资源浪费、环境污染等问题。摩擦纳米发电机可收集和捕获周围环境中的机械能，并能将其转化成电能。海洋环境存在着丰富的可利用机械能，如风能、波浪能、潮汐能等，这为利用摩擦纳米发电机实现电化学腐蚀防护绿色化提供了便利的能量来源。

聚焦复合电介质的电荷转移机制，综合考虑电荷产生、传输、俘获和耗散等因素，研发团队设计了一种复合电介质材料，并在此基础上设计了可将周围环境中的机械能转化为电能的摩擦纳米发电机，开发了新型阴极保护系统，展示了其在电化学领域的应用潜力。同时，研发团队设计了一种原位微电解池观察系统，对阴极保护效果进行了评价。

研究表明，摩擦纳米发电机可作为独立电源提供电化学阴极保护。该研究为高性能摩擦纳米发电机复合介质的开发提供了有益指导。

# 我国新型储能累计装机首次突破 10 吉瓦

中国科学报 2023.4.11

近日，在北京召开的第十一届储能国际峰会暨展览会上，《储能产业研究白皮书 2023》（以下简称《白皮书》）发布。据不完全统计，截至 2022 年底，我国新型储能继续高速发展，累计装机规模首次突破 10 吉瓦，达到 13.1 吉瓦。

根据中国能源研究会储能专委会/中关村储能产业技术联盟（CNESA）全球储能项目库的不完全统计，截至 2022 年底，全球已投运电力储能项目累计装机规模 237.2 吉瓦，年增长率 15%。抽水蓄能累计装机规模占比首次低于 80%，与 2021 年同期相比下降 6.8 个百分点；新型储能累计装机规模达 45.7 吉瓦，是上年同期的近 2 倍，年增长率 80%。

2022 年，全球储能市场继续高速发展，新增投运电力储能项目装机规模 30.7 吉瓦，同比增长 98%。其中，新型储能新增投运规模首次突破 20 吉瓦，达到 20.4 吉瓦，是 2021 年

同期的 2 倍。中国、欧洲和美国继续引领全球储能市场的发展，三者合计占全球市场的 86%，比 2021 年同期上升 6 个百分点。

《白皮书》显示，我国已投运电力储能项目累计装机规模 59.8 吉瓦，占全球市场总规模的 25%，年增长率 38%。抽水蓄能累计装机占比首次低于 80%，与 2021 年同期相比下降 8.3 个百分点；新型储能继续高速发展，累计装机规模首次突破 10 吉瓦，达到 13.1 吉瓦 /27.1 吉瓦时，功率规模年增长率达 128%，能量规模年增长率达 141%。

此外，《白皮书》还对未来 5 年我国新型储能市场进行预测：在保守场景（定义为政策执行、成本下降、技术改进等因素未达预期的情形）下预计 2027 年新型储能累计装机规模将达到 97 吉瓦，年均新增储能装机为 16.8 吉瓦；理想场景（定义为各省份储能规划目标顺利实现的情形）下则累计达到 138.4 吉瓦，年均新增 25.1 吉瓦。

此次峰会由中国能源研究会、中关村储能产业技术联盟和中国科学院工程热物理研究所联合主办。

## 我科学家研制出新型高镍三元正极材料

科技日报 2023.4.11

在新能源电池研究前沿，新型高镍正极材料的开发及规模化制备显得尤为迫切。记者 10 日从云南大学材料与能源学院获悉，该院郭洪教授团队设计并制备出一种新型高镍三元正极材料，有望用于锂离子电池等多个领域。国际期刊《德国应用化学》发表了相关研究成果。

由于具有较高的放电比容量、较好的循环及热稳定性，新型高镍三元正极材料的研发备受关注。“目前这类商业化的产品主要集中在镍钴锰酸锂和镍钴铝酸锂，然而传统高镍三元正极材料循环稳定性、空气稳定性及热稳定性较差，严重阻碍了产业化进程。”郭洪介绍，最新研究表明，高价态元素掺杂形成的新型高镍正极材料，不但能很好地优化一次晶粒的形貌，还能构建结构稳定且不影响锂离子运输的超晶格层，进而很好地消除二次颗粒在充放电过程中形成的微应力，优化锂离子的迁移路径，有效提高正极材料在充放电循环及热失控过程中的结构稳定性。

为此，郭洪团队对材料的微观结构进行了精确可控设计，并结合理论计算，深入研究了不同元素掺杂能垒以及它们之间的竞争掺杂化学机制，分析了表面锂离子导体包覆层与基体之间的匹配度及相互作用机制。随后，他们组装了以石墨为负极、新型高镍三元正极材料为正极的液态全电池，并对材料循环稳定性作了系统评估。

结果表明，研发团队成功制备出亚表面具有超晶格、体相掺杂钛、表面包覆锂离子导体的镍钴铝酸锂高镍（镍含量高于 90%）正极材料。其独特的结构特征，能从多个方面提高正极材料长循环稳定性，其中纳米级包覆层能抑制电解质与正极材料之间的副反应，超晶格结构能有效稳定脱锂态层状结构，从而抑制表面结构从层状到岩盐相的重构；钛掺杂能增大锂—氧层的层间距，提高电子电导率。

“这一创新合成策略，也适用于其他新型高镍正极材料的开发，为制备成本更低、循环稳定性更好、能量密度更高的下一代锂离子电池提供新途径。”郭洪说。

## 中国、欧洲、美国引领全球储能市场发展

中国电力报 2023.4.12

4月7日，中国能源研究会储能专委会/中关村储能产业技术联盟（CNESA）发布《储能产业研究白皮书 2023》，指出 2022 年中国、欧洲和美国继续引领全球储能市场的发展，三者合计占全球市场的 86%

### 2022 年全球储能市场发展状况

- 根据 CNESA 全球储能项目库的不完全统计，截至 2022 年底，全球已投运电力储能项目累计装机规模 237.2 吉瓦，年增长率 15%

- 抽水蓄能累计装机规模占比首次低于 80%，与 2021 年同期相比下降 6.8 个百分点

- 新型储能累计装机规模达 45.7 吉瓦，是去年同期的近 2 倍，年增长率 80%，锂离子电池仍占据绝对主导地位，年增长率超过 85%，共在新型储能中的累计装机占比与 2021 年同期相比上升 3.5 个百分点

- 2022 年，全球储能市场继续高速发展，新增投运电力储能项目装机规模 30.7 吉瓦，同比增长 98%

### 2022 年中国储能市场发展状况

- 截至 2022 年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模 59.8 吉瓦，占全球市场总规模的 25%，年增长率 38%

- 抽水蓄能累计装机占比同样首次低于 80%，与 2021 年同期相比下降 8.3 个百分点

- 新型储能累计装机规模首次突破 10 吉瓦，达到 13.1 吉瓦/27.1 吉瓦时，功率规模年增长率达 128%，能量规模年增长率达 141%

- 2022 年，中国新增投运电力储能项目装机规模首次突破 15 吉瓦，达到 16.5 吉瓦，

其中，抽水蓄能新增规模 9.1 吉瓦，同比增长 75%

● 新型储能新增规模创历史新高，达到 7.3 吉瓦/15.9 吉瓦时，功率规模同比增长 200%，能量规模同比增长 280%

● 新型储能中，锂离子电池占据绝对主导地位，比重达 97%

## 海藻保鲜膜耐高温能降解

中国科学报 2023.4.13

近日，英国研究人员利用泛滥的海藻制成了耐高温、可轻易降解的保鲜膜。这种材料有可能成为可持续性的食品包装。

每年，人们都会消耗大量保鲜膜，比如用来包装农产品或烘焙食品。大多数保鲜膜最终成为垃圾，要么是因为它们需要专门的回收装置才能回收，要么就根本不可回收。一些可生物降解的塑料的确存在，但分解它们需要数月甚至数年。因此，利兹大学的凯兰·沃德和同事希望能制造一种可以轻易降解的薄膜塑料。

他们使用的原料是一种名为马尾藻的褐藻。这种水藻中含有链状分子，与构成传统塑料的分子相似，这使它成为一种很好的原材料。研究人员将水藻与一些酸和盐混合，得到一种全部是这种分子的溶液，再把这种溶液与化学物质混合，使它变得更加黏稠和柔韧。

研究小组把加工后的溶液制作成薄膜，然后测试了薄膜在加热情况下和扔到堆肥箱中的效果。这种生物薄膜可以承受 230 摄氏度的高温，扔到家用堆肥箱中后，在不到 3 周的时间里，90%以上的薄膜就会降解。

沃德说，如果放在工业降解设施中，这些薄膜的降解过程只需要 11 天。

此外，研究人员说，在水中放置 10 天后，这种薄膜没有释放出任何化学物质。这说明，它可以安全地用于包裹例如鲜切水果等湿润的食物。不过，还需要进行更多测试，看看这种薄膜是否能用于更长时间的食品包装，比如包装需要储存数月的糖果。

## 无氯电解液可应用于镁空气电池

中国科学报 2023.4.24

水系镁空气电池具有理论能量密度高、环境友好、安全性高、成本低和贮存寿命长的特点，是一种理想的应急储备电源。近日，中国科学院大连化学物理研究所研究员王二东团队在水系镁空气电池电解液设计研究方面取得新进展。他们提出一种无氯电解液，有效避免了

镁负极在传统氯化钠电解液中的阳极析氢腐蚀问题。相关成果日前发表于《化学工程学报》。

水系镁空气电池无须充电，在使用前加注河水、海水或其他水源，即可对外供电，其主要应用场景包括露营、日常停电或遇到地震、洪水等灾难的紧急情况。然而，镁负极在氯化钠电解液中发生阳极溶解反应的同时还伴随剧烈的析氢腐蚀反应，且存在负差效应——放电电流密度增大、析氢腐蚀速率加快。长期以来，文献报道中的镁负极利用率停留在 60%左右，这使得镁空气电池的比能量大打折扣。

本工作中，团队提出采用乙酸钠电解液，构建了均匀溶解和无局部腐蚀的镁负极/电解液界面。研究人员借助乙酸根离子中甲基的空间位阻效应，增加了阴离子在表面膜中的扩散能垒，避免了镁负极表面膜的破坏，从而抑制了镁负极在放电过程中的阳极析氢腐蚀。

基于该策略下的镁负极在 10mA/cm<sup>2</sup> 电流密度下的利用率可达 84%，高于在传统氯化钠电解液中的 59%。同时，基于镁负极质量计算的比能量由 1370Wh/kg 提升到 1770Wh/kg。此外，团队还在商业化镁空气电池中证实了乙酸钠电解液的实用性。

该工作为设计高性能镁空气电池提供了一条简单可行的途径，同时揭示了镁负差效应的根本原因。

## 加快推进压缩空气储能标准体系建设

中国电力报 2023.4.20

在构建新型电力系统的过程中，压缩空气储能因其自身具有装机容量大、储能周期长、建设周期短、系统效率高、安全系数高、环境污染小等优势，被认为是最具发展前景的大规模长时新型储能技术路线。

伴随压缩空气储能技术进步和产业发展，标准体系建设也亟待加强。

### 压缩空气储能标准现状及问题

标准既是工程经验的总结，更是支撑和引领行业高质量发展的重要保障。在技术积累的基础上，我国压缩空气储能标准化建设也得到了同步发展，国家标准、行业标准、团体标准等不同层级标准相继发布。其中，国家标准、行业标准均为 2021~2022 年标准计划，预计 2025 年前发布实施。

目前，压缩空气储能技术处于由研发示范向商业化过渡的关键阶段，但通过对现行标准情况的梳理发现，压缩空气储能领域标准建设存在以下主要问题：一是标准化建设顶层设计不足，科学健全的标准体系尚未建立；二是关键性技术标准严重缺失，相关标准不仅尚未发

布实施，甚至尚未优先加快立项。三是标准立项与编制系统性不强，各参与企业编制标准意愿强，但未形成系统性意见等。

因此，为充分发挥标准对行业发展的规范、支撑和引领作用，应加快建立涵盖压缩空气储能项目全生命周期的标准体系，强化顶层设计，加强对相关技术标准制定工作的指导。

### **压缩空气储能标准体系构建思路**

从系统应用的角度看，压缩空气储能标准体系应涵盖项目规划设计、建造验收、运行维护以及关键设备等环节。从压缩空气储能电站设计建造内容的角度看，标准体系主要由储能系统和储气系统组成，两部分相对独立。前者包含压缩机、储/换/补热设备、膨胀机和测控系统等主要设备系统，后者包含地面储罐或地下储气库。尤其是地面储罐和地下储气库（盐穴利用、矿洞利用、新建岩洞等），其核心技术和标准内容完全不同，在体系建设中亦应有所区分。

基于以上分析，建议按照时序阶段全生命周期与专业内容全覆盖的理念，建立“压缩空气储能技术标准体系”，具体可分为3个层次：第一层次为“T基础通用”标准，是第二、三层次标准的基础，具有广泛的指导性。第二层次兼顾时序阶段划分和专业特色，分为“A规划设计”“B施工及验收”“C设备”“D运行维护”“E技术经济”5个子体系。第三层次按通用、储能系统、储气系统对标准进行归类。

其中，“T基础通用”子体系，主要包括工程等级划分及设计安全标准、电站标识系统编码、信息模型等基础性、通用性标准，适用于压缩空气储能工程建设与运营的全过程。“A规划设计”子体系，主要针对压缩空气储能规划研究、勘察设计等方面提出技术要求，包含《压缩空气储能电站设计规范》《电力储能用压缩空气储能系统技术要求》《压缩空气储能系统集气装置工程设计规范》《压缩空气储能电站地下高压储气库设计规范》等工程项目设计阶段关键核心技术标准。“B施工及验收”子体系，主要对压缩空气储能电站工程施工、安装、调试、验收等方面提出技术要求，包括《压缩空气储能电站设备安装与调试规程》《压缩空气储能电站机组启动试运行及验收规程》等项目建造与验收阶段关键标准。“C设备”子体系，对压缩空气储能电站主要设备及系统提出技术要求，包含压缩机、膨胀透平机、储换热系统设备等重要设备的技术要求标准。“D运行维护”和“E技术经济”子体系，主要包含压缩空气储能工程运行与维护、项目管理、工程造价和技术经济等方面的技术标准。

### **压缩空气储能标准化建设的建议**

“十四五”时期，伴随着可再生能源行业大规模、高比例、快速发展，可以预见我国压缩空气储能行业也将迎来规模化发展新阶段。因此，亟须加快推进我国压缩空气储能技术标

准体系建设，加强标准化管理，并提高标准编制质量，满足产业发展的需求，并支撑和促进压缩空气储能高质量发展。

一是加快压缩空气储能技术标准体系建设。一方面，国家标准化技术委员会、国家能源局、全国电力储能标准化技术委员会等，尽快推动构建层级明确、协调统一、具有较强指导性的技术标准体系，并充分实现各层级技术标准的有效联动和协调发展。另一方面，按照“覆盖全生命周期与专业内容”的总体要求，以及“创新引领、重点推进、急用先行”的基本原则，加快推进压缩空气储能技术标准体系建设。

二是坚持压缩空气储能技术创新、工程示范与标准化一体化推进，加快关键核心技术研制。充分结合目前大量压缩空气储能示范工程建设与运行情况，加快对相关技术要求的提炼与总结，尽快推动标准化转化。同时，研究建立压缩空气储能技术创新、工程示范与标准研制的联动机制，同时部署技术研发与标准研制工作，及时将先进创新成果融入技术标准，着力实现科技创新、标准制定和标准实施协同发展，不断提升标准水平。

三是按照储能发展和安全运行需求，对涉及压缩空气储能电站安全等重点领域的关键核心技术标准加快研制进度。同时，结合与风电、光伏、火电、抽水蓄能等其他电源或储能设施联合运行的需要，加强多种应用场景相关标准的研制。

四是充分发挥团体标准快速反应市场和创新需要的优势，加快压缩空气储能团体标准编制，增加标准有效供给。并在此基础上，加强对团体标准的跟踪与分析，推动相关成果的有效转化。

五是加强压缩空气储能标准化工作的国际交流与合作。积极参与国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）等国际标准化活动，参与相关标准制定工作。（岳蕾武明鑫王富强）

## 新型真空绝热复合材料能在极温环境下应用

科技日报 2023.4.27

采用自主研发技术，开发出一种真空绝热复合材料，节能效果较传统保温材料提高10—20倍。近日，南京工业大学王泽鹏、韩保恒等同学在陈舟副教授、胡军峰副教授、姚山季教授等老师的指导下，凭借该项技术在第十三届“挑战杯”中国大学生创业计划竞赛全国决赛中斩获科技创新和未来产业组金奖。

该真空绝热复合材料主要由纳米级无机纤维芯材、超薄金属阻隔膜和气体吸附材料，通过真空熔焊一体化成型技术制备而成。其利用真空绝热原理，可有效避免气体对流传热引起

的热对流。项目团队利用自主研发的高真空快速激光焊接装备，可对厚度仅为 0.1 毫米的超薄金属阻隔膜进行无漏焊接，实现真空绝热复合材料在-196℃—800℃极温领域的应用。

同时，为了降低真空绝热复合材料热传导性能，该项目团队采用高速离心—二次喷吹纳米纤维成型技术，开发出纳米级无机纤维芯材。“我们研发的纳米级无机纤维芯材属于玻璃纤维的一种，传统玻璃纤维直径大约 7—9 微米，我们量产的纤维直径仅为 520 纳米，可有效增加芯材孔隙率和比表面积，降低孔径。”项目团队负责人王泽鹏表示，纤维直径对导热性能影响较大，玻璃纤维芯材就像无数条搭接的高速公路，在单位时间和单位质量内，纤维直径越细，热能传导的“公里数”就越多，热传导的时间和路径也就越长，保温能力也就得到了提升。

“该复合材料常温导热系数仅为 0.0012 瓦每米开尔文，节能效果较传统保温材料提高 10—20 倍，在达到相同节能率标准情况下，厚度仅为现有传统保温材料的十分之一，综合成本仅为现有传统保温材料的 60%—80%，节能效果显著。同时产品可实现绿色回收、循环再利用。”项目团队成员韩保恒介绍。

据悉，该项目产品可用于医药冷链、钢铁石化等极低和极高温领域的保温绝热。目前，该项技术已在徐工集团、中集集团、国药集团等企业应用，参与了国有大型企业的节能改造工程。(金凤 韦玮)

## 3D 多孔辐射制冷薄膜可使冰融化速率降低 4 倍

科技日报 2023.4.27

4 月 25 日，科技日报记者从中国科学院兰州化学物理研究所获悉，该所清洁能源化学与材料实验室低碳能源材料组高祥虎研究员团队，通过热诱导相分离技术制备了一种具有 3D 多孔结构的介电/聚合物复合薄膜材料，实现了优异的辐射制冷效果。

在全球气候变暖和“双碳”目标背景下，研发清洁能源材料与节能降碳技术具有极为重要的战略意义。传统降温方法（如空调系统等）能源消耗大，导致温室气体排放显著提升，严重阻碍“双碳”目标的实现。辐射制冷是一种零能耗、零污染的制冷技术，该技术利用宽光谱选择性精准调控，通过有针对性地优化光学结构以满足多场景制冷需求，可实现可持续无源制冷目标。

近几年，越来越多的科研人员提出了辐射制冷的概念。辐射制冷的基本原理是：在密闭区域内，通过覆盖具有增强效应的光谱选择性材料，将该区域的热量以热辐射的形式释放到

低温的外层宇宙空间，以达到自身降温的目的。因此辐射制冷材料就是将热辐射波长调制到大气窗口波段的光学材料。

“实现辐射制冷的关键点在于光学材料在可见光近红外波段（0.3—2.5 毫米）有更高的反射率和在中红外大气窗口（8—13 毫米）附近的波段有更高的发射率。”高祥虎说，就工作原理而言，辐射制冷与太阳能吸收完全相反。辐射制冷要求材料在太阳辐射波段具有较高的反射率，以及在大气窗口波段有较高的发射率。而太阳能吸收则要求材料在太阳辐射波段具有高吸收低反射特性。在研制过程中，就材料选择而言无法借鉴以往的经验。高祥虎表示，材料体系的选择是他们遇到的最大问题。

高祥虎介绍，他们研制的具有 3D 多孔结构的介电/聚合物复合薄膜材料内部具有随机分散的氧化铝粒子和分层无序的微纳孔隙，合理的层次结构和功能成分使其太阳辐射波段反射率为 98.26%，大气窗口波段发射率为 97.56%，有效提高了材料的光谱性能。在夏季日间太阳直射下，该材料可达到低于环境温度 9.1℃的降温效果和 87.2 瓦/平方米的冷却功率。

此外，该材料在防冰融化的测试中展现出优异的降温效果。在 760 瓦/平方米的太阳辐照度下照射 2 个小时，用该材料遮盖的冰块状态没有明显变化，与自然状态相比，该方法能使冰融化速率降低 4 倍。同时，该材料还具有优异的机械性能和自清洁性能。经过 30 多天的紫外线照射，该材料仍保持优异的光学性能。

“我们课题组目前正在开发一类性能优异、环境友好、成本低廉且可大面积生产的辐射制冷薄膜材料，以促进该类材料在实际生活中的广泛应用。”高祥虎介绍，就目前而言，这类复合薄膜材料可用于冰川保护、大型石油储存罐、大型电力设备、火力发电、建筑物制冷、光伏发电等诸多领域。(颜满斌)

### 三、碳达峰、碳中和

电力脱碳势在必行 电动汽车“遍地开花”

## 英押注五大领域力促净零排放

科技日报 2023.4.13

据英国《新科学家》网站报道，英国政府近日公布了《碳预算交付计划》，描述了该国到 2050 年实现净零碳排放的政策和细节，包括电力脱碳和大规模部署热泵等。

据英国政府估计，如果一切按计划进行，到 2037 年，这些举措预计能实现所需减排量的 40%。不过，也有专家表示担心，计划中的很多政策以及数据可能只是政府的一厢情愿。

## 电力脱碳成趋势

英国计划在 2035 年前，通过启用新核电站、大量部署海上风能、氢能、太阳能，以及广泛采用碳捕获技术来实现电力脱碳。

计划指出，如果一切按预计开展，从现在到 2027 年，英国每年将减排 270 万吨二氧化碳当量；2028 年至 2032 年，每年将减排 670 万吨二氧化碳当量；2033 年至 2037 年，每年减排 1120 万吨二氧化碳当量。

英国伦敦大学学院吉姆·沃森指出，在英国政府下的所有大“赌注”中，这一“赌注”可能最安全。但他表示，计划仍然存在风险，比如新型小型模块化核反应堆还存在不确定性，在研究人员开始建造这些核反应堆前，它们何时建成以及成本是多少还是未知数。

## 捕碳储碳是核心

捕获和储存碳的技术是英国政府《碳预算交付计划》的核心。除了这个在 10 年内建立碳捕获和储存“集群”的计划外，政府还希望为这些温室气体去除技术培育一个商业市场。

据估计，温室气体去除行业的碳减排量将从 2023 年至 2027 年的每年 5.4 万吨二氧化碳当量，跃升至 2033 年至 2037 年的每年 2340 万吨二氧化碳当量。

但英国爱丁堡大学的斯特尔特·黑兹尔丁表示，温室气体去除仍然是一个新兴行业，主要由初创企业主导。他估计，该行业可能需要 10 年时间才能大幅扩大规模。他同时警告称，政府的部署预测“完全是推测性的”。

## 钢铁脱碳非易事

钢铁行业约占英国工业温室气体排放量的 14%。英国政府预计，通过对炼钢过程进行电气化、使用回收钢铁并引入氢动力炼铁，到 2037 年，英国钢铁行业每年的碳排放量可减少 1030 万吨二氧化碳当量。

但实现如此巨大的产业转型并非易事。2022 年 5 月，英国议会的一份报告指出，英国“尚未大规模试点任何新的‘绿色’炼钢技术，也没有制定任何具体的政策框架”。

## 部署热泵是选项

英国家庭供暖领域的碳排放量约占该国总碳排放量的 14%。家庭供暖脱碳大致有两种选择：将天然气管网转换为使用氢气；或者关闭燃气锅炉，像热泵一样进行低碳供暖。

在目前这个“高度电气化”的环境下，几乎没有家庭用氢供暖。英国气候变化委员会主张迅速增加热泵的部署数量：目前（2021 年）每年部署约 55000 台，到 2035 年要增加到 190 万台。《碳预算交付计划》的测算显示，到 2037 年，这一方案每年将减排 1540 万吨二氧化碳当量。

但专家表示，目前的政策不足以大幅增加部署。政府需要做更多工作来激励家庭购买热泵，使这项技术的运行成本降低，并禁止采用新的燃气锅炉。

### 加快转向电动车

到 2030 年禁止销售新型汽油和柴油汽车的禁令即将出台，英国政府希望借此加快人们转向电动汽车的步伐。《碳预算交付计划》规定，从 2024 年开始，零排放汽车在制造商新车销量中所占比例（22%）每年都应增加，预计到 2037 年，这将每年减排 1600 万吨二氧化碳当量。

为实现这一点，英国政府的目标是到 2030 年，在英国各地设置 30 万个电动汽车充电点，但 1 月份公布的数据表明，要实现这一目标，每月安装量需要增加 288%。

## 在香山科学会议上，专家指出——二氧化碳利用技术潜力巨大

科技日报 2023.4.17

“二氧化碳是‘坏’物质吗？”在 4 月 13 日召开的香山科学会议第 742 次学术讨论会上，科技部中国 21 世纪议程管理中心（以下简称 21 世纪中心）研究员黄晶提出一个简单却经常被忽视的问题。

从自然属性看，二氧化碳作为大气的重要组成部分，并非有毒气体等“坏”气体。二氧化碳是温室气体，没有它的地球平均气温将下降超 30 摄氏度。那么，除了被捕捉并关起来之外（捕集与封存），二氧化碳还能做什么？

“到 2050 年，如果二氧化碳利用技术大规模推广，不仅具有直接减排效应，还能实现可观的二氧化碳替代减排量。”黄晶解释，例如用二氧化碳合成的甲醇 1 吨能消耗约 1.4 吨二氧化碳，还能通过以可再生能源替代煤炭实现再减少 4 吨二氧化碳排放。

“发展二氧化碳利用关键技术，在规模化消纳二氧化碳的同时，还能带动交通、化学工业等其他工业过程实现碳减排。”中国科学院院士、中科院大连化学物理研究所研究员李灿说。

### 曾经因为 4 大缺陷被认为不可行

既然二氧化碳可以被高效利用，为什么一直没有受到业内的重视呢？

21 世纪中心社会事业处研究员张贤为科技日报记者梳理了发展脉络。

2007 年前后，我国在应对气候变化的相关“国家方案”中均强调了推动碳捕集与封存

技术（CCS）与二氧化碳利用技术。国际上也开始重视二氧化碳利用技术，并把利用的“U”与 CCS 融合为 CCUS。

“在碳中和目标提出前，大家普遍认为二氧化碳利用技术存在 4 大缺陷，即封存期短、减排量小、额外耗能、技术经济性不强。”张贤解释，业界对二氧化碳利用技术的减排潜力和贡献存在争议。

随着技术不断进步，目前的二氧化碳利用能耗、成本、体量均得到了很大幅度的改善，这些为二氧化碳利用技术带来转机。

“规模化生产开始落地，成本、能耗等普遍降低，项目规模也开始迈向万吨级。”李灿说，越来越多团队在催化剂等基础研究方面取得突破，制备纯度大幅提高，有的甚至达到 99%。来自国内外的大量实践表明，曾经困扰二氧化碳利用技术落地的缺陷已经得到逐步解决。

“与此同时，碳中和目标提出后，我国确立了尽快由能耗双控向碳排放双控转变的政策，也让这类技术展现出巨大潜力。”张贤说，作为化学储能的重要方式，二氧化碳利用为未来能源体系近零排放提供了条件，将逐步发展为“刚需”或相对便宜的技术，随着碳市场的发展还有盈利可能。

### **聚焦研究转化，为“双碳”目标达成释放巨大潜力**

与会专家认为，发展二氧化碳利用技术在实现减排温室气体的同时，还可以抵消碳捕集过程的高昂成本、保障能源安全、促进低碳新业态孵化。

那么，二氧化碳的有效利用潜力究竟有多大？

有报告显示，到 2050 年，仅利用二氧化碳制备合成气和甲醇的产量就可能分别达到 4000 万吨左右。数据显示，截至 2023 年 2 月，我国已经投运和规划中的二氧化碳利用技术示范项目为 57 个，将二氧化碳高效转化为有价值的化工和生物产品的项目数量约为 40%。

“当前部分二氧化碳利用技术成熟度不高，还处于中试及以下水平。”黄晶说，产业化发展与技术成熟度和经济可行性密切相关，当前在混凝土养护、高分子聚合物合成等少数几类产品的工业化生产中，二氧化碳利用技术成本已经能够低于传统工艺，其他产品的研究仍需加强，以实现更高经济可行性。

“二氧化碳转化利用涉及热力学、动力学方面的一系列难题。”中国科学院化学研究所研究员韩布兴表示，解决二氧化碳转化中的科学难题，推动相关产业发展是一项长期课题。与会专家认为，国家层面应加强二氧化碳利用的科技战略布局，抓紧部署该领域的前沿、颠覆性技术，加强技术储备。相信随着二氧化碳利用技术取得重大突破和利用部署，未来的减排和创造工业产值将是“步调一致”的，可有效化解当前阶段“发展”与“减排”的矛盾。

(张佳星)

## 我国科学家提出二氧化碳大规模资源化耦合利用新途径

中国电力报 2023.4.18

近日，记者从中国科学院大连化学物理研究所获悉，该所刘中民院士团队提出了二氧化碳与烷烃耦合制备芳烃大宗化学品的新途径。团队发现使用酸性分子筛作为催化剂，可催化二氧化碳与轻质烷烃发生耦合反应，同时促进了芳烃的生成，产物中芳烃选择性高达 80%。在特定条件下，约四分之三的二氧化碳转化为可用作化工原料的一氧化碳产物，进一步研究证实约四分之一已转化的二氧化碳的碳原子直接进入了芳烃产物。

绿色低碳发展是大势所趋，实现“双碳”目标离不开二氧化碳的减排，而二氧化碳作为碳资源的规模化高附加值利用是极具挑战性的重要战略方向。

二氧化碳是最稳定的化学分子，将二氧化碳作为原料高效转化为大宗化学品一直是巨大挑战。芳烃是有机化工中重要的基础原料，可以广泛用于合成树脂、纤维、染料、医药、香料等，目前主要通过石脑油催化重整等石化路线进行生产，存在原料和目标产品之间碳氢不平衡的问题。引入二氧化碳与富氢的烷烃耦合调控其反应的碳氢平衡，提高目标产物选择性，同时将二氧化碳转化为有用的化工原料或产品，以实现二氧化碳资源化利用，对传统芳烃生产技术具有变革性意义。

此前很多研究人员尝试采用二氧化碳与烷烃反应，将二氧化碳转化为一氧化碳并减少氢气的生成，但均认为二氧化碳的碳原子没有进入烃类产物中。

本研究中，团队以 HZSM-5 分子筛为催化剂，对比研究了正丁烷、正戊烷和正己烷在氢气和二氧化碳气氛中的转化反应，并详细研究了分子筛酸性，反应温度、压力、二氧化碳加入量等条件对耦合反应的影响。结果表明，二氧化碳的引入可大幅促进芳烃的生成，同时甲烷和乙烷等小分子烷烃的生成受到抑制。

团队对反应后的催化剂进行分析，发现了大量甲基取代的内酯和甲基取代的环烯酮等含氧物种。通过同位素标记实验和一系列验证实验，证实这些含氧中间体由二氧化碳与烃类耦合转化生成，提出并证明了耦合反应发生的途径，即二氧化碳与碳正离子反应得到环内酯，环内酯进一步转化为甲基环烯酮，甲基环烯酮转化为芳烃产物。进一步采用密度泛函理论计算了耦合反应机理各步骤的能垒，验证了耦合反应机理的可行性。

“这项成果最大的亮点是证实了二氧化碳与烷烃耦合反应不仅可以将其转化为一氧化

碳，更重要的是部分二氧化碳的碳原子可以直接进入芳烃产物，促进芳烃的生成并提高产物中芳烃的选择性，为二氧化碳大规模资源化利用提供了一条有效的途径，具有广阔的应用前景。”刘中民介绍。

该研究成果发表在我国唯一被 SCI 收录的催化英文期刊——《催化学报》上。没有选择境外期刊，而是将优秀的成果发表在国产期刊上，是出于怎样的考虑？

对此，刘中民院士深有感触：“将二氧化碳作为碳资源进行高附加值利用，对实现‘双碳’目标的技术路径设计具有重大意义。将我们的最新研究进展发表在国产期刊上，我经过了慎重的考虑。”刘中民表示，我国加强科技创新，也需要与科技创新地位相适应的国际级期刊。近些年，很多国产期刊对高水平研究工作都开辟了绿色通道，文章接收后会快速发表并推介宣传，在国内外显示度逐步提升。刘中民告诉记者：“以《催化学报》为代表的国产期刊近年来专业性和世界影响力都在快速提升，让中国的最新成果在中国的期刊上发表，这也体现了我们的科技自信在不断增强。同时，我国一流期刊的发展也离不开一流的科研成果，向国产期刊投稿高水平科研成果，需要大家积极支持。”

鉴于生物炭能从空气中吸收其重量 23% 的二氧化碳，在一项概念验证研究中，美国华盛顿州立大学科学家在普通水泥中注入环保生物炭，得到了一种新型负碳环保水泥，且其强度与普通水泥相当。这一研究成果发表于最新一期《材料快报》杂志，有望显著减少水泥行业的碳排放。

全球每年生产的混凝土超过 40 亿吨。制造普通水泥需要高温并燃烧燃料，水泥生产中使用的石灰石也会分解，产生二氧化碳，因此水泥行业是所有制造业中能源和碳密集度最高的行业之一，其排放的二氧化碳占全球人类活动总碳排放量的 8% 左右。

此前就有科学家在水泥中添加生物炭（一种由有机废物制成的木炭），希望使其更环保并减少碳足迹，但结果表明，即使添加 3% 的生物炭，也会显著降低水泥的强度。

最新研究中，在用水泥废水对生物炭进行强化后，华盛顿州立大学科学家在水泥混合物中添加高达 30% 的生物炭。研究表明，28 天后，得到的糊状物的抗压强度与普通水泥相当。

研究团队解释说，水泥废水的碱性很强，但也是钙的宝贵来源。含有大量钙的高碱性废水与富含很多孔隙的生物炭之间发生了协同作用，使碳酸钙沉淀在生物炭上或沉淀到生物炭中，增强其性能的同时也使其能从空气中捕获二氧化碳。

研究人员表示，大多数团队只能在水泥中添加 3% 的生物炭，但他们证明，可在水泥中掺杂更高剂量生物炭。他们最新研制出的这种新型水泥或许能“终生”封存二氧化碳。在路

面上使用时，这些水泥的“寿命”为 30 年，在桥梁上使用时，其寿命为 75 年。

## 新方法实现常温常压下二氧化碳捕获与释放

科技日报 2023.4.25

24 日从中国科学技术大学获悉，该校刘波教授、南方科技大学徐强教授与国际研究团队合作，首次用二氧化碳作为客体分子模拟二氧化碳水合物结构，使用廉价的硫酸胍与二氧化碳共结晶形成稳定的包合物，实现了环境温度压力条件下二氧化碳可逆的捕获与释放。这有望成为一种很有潜力的碳捕获和存储方法，相关研究成果日前发表在《细胞报告物质科学》上。

碳捕获是碳捕集利用与封存技术的重要环节，对于实现国家“双碳”目标具有重要意义。目前二氧化碳捕获主要通过基于变压变温的物理或化学吸附过程完成。物理吸附剂采用具有高比表面积的多孔材料，二氧化碳分子通过弱相互作用进入吸附剂的孔道。虽然具有吸附热低和易于再生的优点，但烟道气和环境中的水汽与二氧化碳分子存在竞争吸附，极大降低了吸附剂的选择性、容量和循环性能。化学吸附剂如乙醇胺、有机胍等，虽然具有高的选择性，但其再生过程需要消耗巨大能量。如何降低二氧化碳捕获和释放时的能耗具有重要意义。

在前期工作基础上，研究人员进一步将动态氢键框架结构变换应用于二氧化碳捕获。研究人员发现，在室温附近从硫酸胍水溶液中得到晶态二氧化碳包合物。进一步的结构分析表明，二氧化碳被包裹在胍阳离子和硫酸根之间通过氢键和静电相互作用构筑的框架中。令人惊讶的是，二氧化碳仅与框架中的胍离子存在静电作用，这也是二氧化碳与硫酸胍共结晶形成包合物结晶沉淀的驱动力。强弱适中的相互作用使得碳的捕获和释放均能在温和条件下进行。另外，单位体积的二氧化碳与硫酸胍共结晶形成的包合物，含有相同温度压力条件下 60 倍体积的二氧化碳气体，而相同温度、体积下二氧化碳的压力达到 6 兆帕，揭示了其在碳捕获存储和运输方面的巨大潜力。

## 示范推进，中国“碳捕手”方兴未艾

科技日报 2023.4.25

CCUS 可将二氧化碳从工业、能源生产等排放源或空气中捕集分离，并加以利用或输送到适宜场地封存，最终实现二氧化碳的减排。过去十年，我国在发展和部署 CCUS 方面取得显著进展，目前的在运商业和示范项目每年可捕集近 300 万吨的二氧化碳。

随着最后 100 吨二氧化碳注入，作为我国陆上建成的首个页岩油二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）示范区，位于甘肃省庆阳市庆城县三十里铺镇的长庆油田页岩油西 233CCUS 示范区第一阶段二氧化碳注入试验顺利完成。

长庆油田页岩油开发分公司发布的数据显示，目前长庆油田示范区已累计埋存注入二氧化碳达 6.2 万吨，相当于植树造林 56 万棵。在项目全周期内，预计可实现埋存二氧化碳 14.4 万吨。采用的二氧化碳地层补能技术，可使油井产量提高 3 倍以上，预测最终采收率可达 20% 以上。

CCUS 可将二氧化碳从工业、能源生产等排放源或空气中捕集分离，并加以利用或输送到适宜场地封存，最终实现二氧化碳的减排，是实现碳达峰碳中和的重要技术手段。

### **CCUS 仍处于工业示范阶段**

根据国际能源署的预测，全球利用 CCUS 技术减碳的规模将在 2030 年、2035 年和 2050 年分别达到 16 亿吨、40 亿吨和 76 亿吨，分别占 2020 年全球碳排放总量的 4.7%、11.8% 和 22.4%。欧盟委员会发布的《净零工业法案》提出，到 2050 年，欧盟要实现 5000 万吨/年的碳封存能力。

中国 21 世纪议程管理中心和国际能源署联合发布的《中国 CCUS 与氢能耦合报告》指出，过去十年，我国在发展和部署 CCUS 方面取得显著进展，目前的在运商业和示范项目每年可捕集近 300 万吨的二氧化碳。

“随着 CCUS 技术的不断发展，国内 CCUS 示范项目已从 2021 年底的 49 个增长到 2022 年底的 104 个。”中国 21 世纪议程管理中心社会事业处处长张贤说。

目前在国内，中国石化集团、中国石油天然气集团有限公司、中国华能集团有限公司等均建有不同规模的 CCUS 示范项目，碳源主要集中在石油、电力、煤化工、化肥和水泥生产等领域。

2022 年 6 月，科技部等九部门联合印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》，提出以二氧化碳捕集和利用技术为重点，开展 CCUS 与工业过程的全流程深度耦合技术研发及示范；着眼长远加大 CCUS 与清洁能源融合的工程技术研发，开展矿化封存、陆上和海洋地质封存技术研究。

目前，我国 34 个省级行政区中已有 29 个发布了与 CCUS 相关的政策，各地对 CCUS 的创新技术部署也在持续加码。不过，中国 21 世纪议程管理中心主任黄晶表示，现阶段全球 CCUS 技术区域发展不均、行业成熟度参差不齐，其减排潜力仍有待释放，总体捕集能力相比全球温控 2℃ 的目标需求仍有较大差距。我国大部分 CCUS 技术仍处于工业示范阶段，关

键技术亟待突破，大规模全链条技术体系尚待形成。

### **推动 CCUS 商业化、规模化发展**

当前，CCUS 产业规模化发展仍面临着诸多困难和挑战。黄晶说，未来 CCUS 产业想要进一步发展，还需要强化研发、降低成本、刺激需求，促进技术、市场、政策三大要素深度融合，实现 CCUS 商业化、规模化应用。

《中国 CCUS 与氢能耦合报告》指出，在煤炭资源丰富和具备二氧化碳封存条件地区，CCUS 可为新增制氢产能提供可行、具有成本效益的选择。

除了高成本外，技术创新也是影响 CCUS 产业规模化发展的核心要素。中国石油集团董事长、中国工程院院士戴厚良倡议，各界应合力破解 CCUS 科学技术难题，形成以先进工艺、高端设备产品为载体的技术体系，重点攻关低浓度二氧化碳低成本捕集技术，加强二氧化碳地质利用、化工利用、生物利用技术的研发，构建我国二氧化碳规模化利用工业体系，打造 3 至 5 个百万吨级 CCUS 全产业链示范工程，推进千万吨级 CCUS 产业园区建设等。

此外，把 CCUS 纳入碳市场、碳金融将激发相关企业的绿色减碳主动性。“目前，全国碳市场的激励约束作用初步显现，有效促进了温室气体减排项目的发展，增强了重点排放单位‘排碳有成本、减碳有收益’的低碳发展意愿。”国家应对气候变化战略研究和国际合作中心副主任马爱民表示。

### **创新实践在多领域展开**

自然资源部中国地质调查局于今年 1 月发布了中国海域二氧化碳地质封存潜力评价结果，中国海域二氧化碳地质封存潜力巨大，预测潜力达 2.58 万亿吨。中国地质调查局局长李金发说，自然资源部将继续细化全国主要沉积盆地二氧化碳地质封存潜力评价，开展二氧化碳地质储存空间安全性评价，推广适应地质空间持续用于二氧化碳利用和封存技术，全力保障碳达峰碳中和目标如期实现。

海底碳封存是目前国际上最成熟的二氧化碳负排放技术之一。2022 年，我国首个海上二氧化碳封存示范工程设备在青岛全部建造完成，布设在我国南海珠江口盆地的恩平 15-1 油田，预计今年 6 月份进行二氧化碳灌注。该项目是将海上油田伴生的二氧化碳分离和脱水后，回注至地下咸水层，永久封存于地层深处，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。

“在 2030 年碳达峰之前，我国肯定会有一批海底碳封存示范工程推进实施。估计到 2035 年左右，我国将形成一批规模化的海底碳封存商业项目。”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说。

除了海底碳封存示范工程推进实施外，我国首艘应用 CCUS 技术的新船项目也于近日落地。中国船舶集团有限公司旗下第七一一研究所（以下简称七一一所）与山东海洋集团有限公司所属山东华宸融资租赁股份有限公司签署战略合作框架协议，双方将共同实施我国首例新造船碳捕集系统试点工程。

针对船舶高碳减排率、低能耗和体积空间等应用需求，七一一所聚焦高效吸收、低能耗分离、高密度低温存储等技术，开发了船用 CCUS 系统样机，并完成试验验证。目前，七一一所已获得中国船级社（CCS）、法国船级社（BV）等颁发的原则性认可（AIP）证书，形成了具有自主知识产权的 CCUS 中国技术方案。

由福建龙净环保股份有限公司牵头研发，垃圾焚烧烟气胺法碳捕集国内首套工程示范项目在平湖垃圾焚烧发电厂开展。项目运行结果显示，在垃圾焚烧烟气二氧化碳含量约 8% 的条件下，系统二氧化碳捕集效率可达 95% 以上，每年可实现二氧化碳减排 4.4 万吨。

福建龙净环保股份有限公司首席研发总监庄焯说，该碳捕集工艺系统实现了烟气系统、有机胺吸收液循环系统、冷却换热系统等高效集成，大幅减少系统占地面积，配套自主研发的烟气碳捕集工艺高精度自动控制系统，可提高二氧化碳吸收效率和运行可靠性。“该 CCUS 技术示范工程的成功投运，为下一步常规污染物、二氧化碳均实现超低排放的‘双超低’提供了技术储备。”庄焯说。（李禾）

## 《碳达峰碳中和标准体系建设指南》发布

中国电力报 2023.4.26

4 月 21 日，国家标准委联合国家发展改革委、工信部等部门发布《碳达峰碳中和标准体系建设指南》的通知，进一步细化了标准体系，明确了碳达峰碳中和标准化工作重点

### 主要目标

围绕基础通用标准，以及碳减排、碳清除、碳市场等发展需求，基本建成碳达峰碳中和标准体系。到 2025 年，制修订不少于 1000 项国家标准和行业标准（包括外文版本），与国际标准一致性程度显著提高，主要行业碳核算核查实现标准全覆盖，重点行业和产品能效标准指标稳步提升。实质性参与绿色低碳相关国际标准不少于 30 项，绿色低碳国际标准化水平明显提升

### 标准体系框架

碳达峰碳中和标准体系

- 基础通用标准子体系
- 碳减排标准子体系
- 碳清除标准子体系
- 市场化机制标准子体系

4 个一级子体系

并进一步细分为 15 个二级子体系、63 个三级子体系

该体系覆盖能源、工业、交通运输、城乡建设、水利、农业农村、林业草原、金融、公共机构、居民生活等重点行业和领域碳达峰碳中和工作，满足地区、行业、园区、组织等各类场景的应用

### **标准重点建设内容**

●在基础通用标准领域，主要包括碳排放核算核查、低碳管理和评估、碳信息披露等标准，推动解决碳排放数据“怎么算”“算得准”的问题

●在碳减排标准领域，主要推动完善节能降碳、非化石能源推广利用、新型电力系统、化石能源清洁低碳利用、生产和服务过程减排、资源循环利用等标准，重点解决碳排放“怎么减”的问题

●在碳清除标准领域，主要加快生态系统固碳和碳汇、碳捕集利用与封存、直接空气碳捕集和储存等标准的研制，重点解决碳排放“怎么中和”的问题

●在市场化机制标准领域，主要加快制定绿色金融、碳排放交易和生态产品价值等标准，推动解决碳排放可量化可交易的问题，支持充分利用市场化机制减少碳排放，实现碳中和

### **国际标准化工作重点**

□一是形成国际标准化工作合力，提出成立碳达峰碳中和国际标准化协调推进工作组，设立一批国际标准创新团队等措施

□二是加强国际交流合作，提出与 IPCC、ISO、IEC、ITU 等机构以及“一带一路”沿线国家加强交流合作对接，推动金砖国家、亚太经合组织等框架下开展节能低碳标准化对话等措施

□三是积极参与国际标准制定，提出在温室气体监测核算、能源、绿色金融等重点领域提出国际标准提案，积极争取成立一批标准化技术机构等措施

□四是推动国内国际标准对接，提出开展碳达峰碳中和国内国际标准比对分析，鼓励适

用的国际标准转化为国家标准，成体系推进国家标准、行业标准、地方标准等外文版制定和宣传推广等措施

## 四、生物质能、环保工程（污水）

国家重视、区域布局、资本支持

### 合成生物学迎来发展的春天

科技日报 2023.4.6

《2022年中国合成生物学绿色应用与产业感知调研报告》显示，有57.81%的受访者看好合成生物学技术未来十年的发展。据统计，全国有18个省（市）将“合成生物”写进“十四五”规划，分别从平台建设、技术突破、产业应用等方面，规划了合成生物学的发展路径。

无论是国家层面的顶层设计，还是区域发展的最新布局，都在抢抓新赛道，提前规划合成生物学的发展路径。而资本的青睐，也成为了合成生物学发展的“助推器”。

合成生物学迎来了发展的春天。风口之下，合成生物学有哪些新模式、新技术、新思路和新未来？3月28日，以“万物生长合成未来”为主题的第一届中国绿色生物制造峰会在广州举办。高福、邓子新、元英进、郑裕国、宋尔卫等7名院士，以及400多名各界嘉宾一起，为合成生物学的健康发展献智论道。

第一届中国绿色生物制造峰会由科技日报社与中国生物工程学会联合主办，广州市人民政府与广州市海珠区人民政府支持，态创生物科技（广州）有限公司（以下简称态创生物）承办，是一次由中央媒体联手产学研用发起的行业盛会。

#### 合成生物学是生物经济新引擎

面对新一轮科技革命和产业变革的重要机遇，如何以科技创新开辟发展新领域、新赛道，不断塑造发展新动能、新优势？

到2025年，生物经济成为推动高质量发展的强劲动力，总量规模迈上新台阶……2022年，国家发改委在印发的第一个生物经济五年规划——《“十四五”生物经济发展规划》中，提出了生物经济发展阶段目标。业界普遍寄希望于，生物经济能够成为我国继数字经济之后的第二个新的经济业态。而合成生物学无疑是生物经济的新引擎，将成为我国抢抓的新领域、新赛道。

“合成生物学正在快速向实用化和产业化的方向发展，在‘双碳’、生物材料、生物信息技术和人工智能领域都会发挥其独特的作用，对于改变我国相关产业经济增长方式、实现

产业绿色可持续发展也具有重要的战略意义。”中国科学院院士、中国生物工程学会理事长高福在峰会致辞中给出了自己的判断，即合成生物学正迎来历史性发展机遇。

麦肯锡数据显示，预计到 2025 年，合成生物学与生物制造的经济价值将达到 1000 亿美元，未来全球 60% 的物质生产可通过生物制造方式实现。

由科技日报社和中国生物工程学会联合调研组发布的《2022 年中国合成生物学绿色应用与产业感知调研报告》（以下简称《调研报告》）显示，有 57.81% 的受访者看好合成生物学技术未来十年的发展。据统计，全国有 18 个省（市）将“合成生物”写进“十四五”规划，分别从平台建设、技术突破、产业应用等方面，规划了合成生物学的发展路径。

### **合成生物学领域百花齐放、百舸争流**

近年来，得益于技术突破、政策支持等因素，合成生物学技术取得突破性发展，迅速从实验室走向产业，被广泛运用在医疗健康、绿色能源、日化美妆、食品消费等领域，并且普遍具有低成本、高效率和高价值的特点。由此，我国诞生了一大批合成生物学领域的企业。

自从中国科学家在国际上首次用二氧化碳人工合成出了淀粉，“空气做馒头”似乎近在咫尺，这一“从 0 到 1”的重大突破，让人们看到了合成生物学在引导产业变革方面的巨大潜能。研发出中国第一块细胞培养肉的南京周子未来食品科技有限公司，经过多年的技术攻关，解决了细胞培养肉的多项技术难题，能用 20 天时间培养出重量超 200 克的细胞培养肉；态创生物实现了小分子肽合成技术的重大突破，在替代传统合成方法的同时，将单个肽的合成周期缩短至 1—3 个月，生产效率提升约 40 倍。该公司还借助基因编辑手段，创新了美妆日化领域的角鲨烷原料供应方式，获得外界广泛关注……作为目前国内首份从产业感知角度切入的合成生物学调研报告，《调研报告》评选出的“十大典型应用案例”颇有代表性，涉及食品、美妆、化工、生物等多个领域，彰显出我国合成生物学领域百花齐放的新格局和百舸争流的新活力。评选旨在引领行业发展风向，推动合成生物学行业健康稳定向好发展。

《调研报告》称，经企业工商注册登记信息检索，截至 2023 年 3 月 5 日，广东是“合成生物”企业注册登记最多的省级行政区，拥有超 10 万家合成生物学相关企业，其合成生物学发展潜力全国第一。

广州市政协副主席、市科技局局长王桂林表示，近年来，广州市正在加快布局合成生物学产业，紧紧围绕粤港澳大湾区国际科技创新中心建设目标，着力打通“科学技术化、技术产品化、产品产业化、产业资本化”的发展路径，持续推动生物医药科技创新，从原始创新、产业规划、营商环境等方面发力，推动广州建成生物医药技术策源地和产业创新高地。

### **投资机构助推合成生物学加速布局**

在合成生物学的发展壮大过程中，资本是必不可少的“助推器”。资本的青睐，无疑为合成生物学相关企业的发展提供了充足的“弹药”。

根据《调研报告》，发生在合成生物学领域的密集的投融资行为，展示了合成生物学发展的巨大潜力。据不完全统计，2022年，我国合成生物学领域的投融资频次和数额双双创新高，至少有43次投融资行为，金额达到66亿元。

来自业界的一种观点认为，随着底层技术突破和转化，合成生物学将迎来爆发式增长，叠加碳中和等利好政策和绿色消费的兴起，未来3—5年将是合成生物学发展的关键时期。而在成长期阶段，企业的研发投入非常大，没有资本的助力是难以想象的。所幸，在合成生物学领域，投资机构正在加速布局。未来，或由此产生一些颠覆性的合成生物学相关企业。

不过，在解读《调研报告》时，深圳先进技术研究院林章凛教授认为，合成生物学在技术突破、产业应用、外部环境等方面，依然面临着诸多挑战，需要产学研各界携手共同应对。

规模化生产是合成生物学产品实现商业化的路径，其中，工艺放大过程中的不稳定因素，容易造成定向生产失效。在工业级量产过程中，仍面临如目标产物产率不稳定、染菌、功能修饰途径和分泌渠道缺乏、裂解纯化步骤繁琐及纯化成本高等问题。

此外，还有一个不容忽视的问题是，合成生物学的“造物”特征挑战了人们对于生命的传统价值观念，其“生物设计”环节易引发伦理和安全争议。

合成生物学未来可期，但健康的行业生态，仍需要各方努力构建。(何星辉龙跃梅叶青)

## 全光谱光催化材料实现水体污染零碳净化

科技日报 2023.4.20

4月18日，科技日报记者从扬州大学获悉，该校环境科学与工程学院朱兴旺博士团队经过5年攻关，研制出一种全光谱响应氮碳光催化材料，可实现水体污染治理全程零碳净化，与传统催化剂相比，其整体效率提升13.6倍，并已具备产业级制备条件。相关研究成果已发表于《材料化学A》《应用表面科学》等国际学术期刊，并已申请两项发明专利。

朱兴旺介绍，随着城市化进程加快，不仅生活污水排放严重污染了城市水体，有机污染物的大量使用也导致水体环境污染加剧，城市水网黑臭现象屡见不鲜。传统的污水处理方法如截污纳管和内源治理防范等，需要铺设大量管道并将河水截流，把河底淤泥挖出运走，工程量浩大，给地方政府财政增加压力。

近年来，以催化材料为基础的水处理方法成为黑臭水体处理的研究热点，但目前的催化

材料总体寿命短、催化效率慢，需要额外增加能量和持续投入。

朱兴旺团队长期致力于开发一种无须外加能量、成本低、持久性强、效果好的光催化材料。5年来，他们重点研发并优化了一种全光谱响应氮碳催化材料，该材料具有光生电子—空穴寿命长、化学稳定性高、光吸收范围宽、光吸收能力强等特点，经过持续改进，该材料已实现了产业化制备。

该团队开展的工程实验表明，将该材料制备的光催化网应用于河水中成功恢复了河流生态系统，10天内让河水污染物减少80%，有效恢复了其自净能力。相比于其他水体净化材料，该材料去除污染物效率大幅度提升，从常规的30天缩减到10天以下。

同时在河道治理中，每公里的河道只需铺设宽度为3米的光催化处理网，即可在10天内使河水COD（化学需氧量）达到国家地表水Ⅰ类标准。

据了解，该光催化网目前主要适用于景观河道水和工业废水中COD的去除，将来还可应用于城市污染河道，以及湖泊等大型水体中，通过净化水质，恢复水体自净能力，有效改善水体生态系统。（张运王振兴柳鑫过国忠）

## 我国生物质能发电装机容量连续四年世界第一

# 专家建议——建立基于生物质的新型生态能源系统

科技日报 2023.4.18

“生物质能作为全球公认的具有零碳属性的可再生能源，未来前景广阔。”在4月17日北京召开的第四届全球生物质能创新发展高峰论坛上，国家能源局新能源和可再生能源司副司长王大鹏说，我国生物质能利用已初步形成了以发电为主，生物天然气、清洁供暖等非电为辅的多元化发展格局。

根据论坛上发布的《中国生物质能产业发展年鉴2023》，到2022年底，我国生物质能发电装机容量累计达4132万千瓦，已连续四年位居世界第一；规模化生物天然气产量不断扩大，目前年产约3亿立方米；生物质清洁供暖面积超过3亿平方米，生物质成型燃料年利用量约2000万吨。

中国工程院院士、清华大学教授倪维斗说，生物质是生态系统的重要组成部分，建立基于生物质的新型生态能源系统，是实现“双碳”目标的核心。

### 我国生物质能利用率不足14%

中国工程院院士、国家能源咨询专家委员会副主任杜祥琬说，生物质能是唯一可实现发

电、非电利用多种形式，以固体、液体、气体多种形态对能源作出贡献的非化石能源。生物质能是可以提供稳定、连续供应的能源，在一定程度上弥补太阳能、风能供能不稳定的波动，具备电力调峰作用。

我国生物质资源年产生量巨大，超过 35 亿吨，主要包括农作物秸秆、畜禽粪污、林业废弃物、生活垃圾等多种资源。《3060 零碳生物质能发展潜力蓝皮书》显示，当前我国生物质能的开发潜力约 4.6 亿吨标煤，目前实际转化为能源的不足 0.6 亿吨标煤，占比较小。

“我国每年还有数亿吨的农村废弃物未能得到有效利用，在野外废弃或被填埋产生甲烷等，污染环境。”倪维斗说，如将农村废弃物通过能源化利用、肥料化利用，既能实现污染物和碳减排，又能获得木炭产品，成为高品质燃料，用作垃圾、污水处理的高效吸附剂，增加农业有机肥供给等。

### **创新原料培育和利用技术**

生物质能利用率为何较低？中国农业大学生物质工程中心教授程序说，主要问题是生物质在原料特性上存在先天性的能量密度低，原料收、集、运困难，效率低下，成本较高等。

为解决上述问题，近年来，我国在生物质能原料培育和利用技术方面作了诸多创新，取得明显成效。倪维斗说，比如通过基因改良培育出新一代芦竹，其每年的生长量是热带森林的 5 倍、玉米秸秆的 7 倍、稻草的 15 倍以上，热值接近动力煤。“这种芦竹在降雨量每年 500 毫米以上地区的荒坡、滩涂、盐碱地等都可种植，还能吸收重金属。一年的生长期吸收二氧化碳，是优质碳汇，冬天把它割掉就成为优质的生物质燃料。”倪维斗说。

据《中国生物质能产业发展年鉴 2023》，目前，我国已初步建立了生物质发电、供热、厌氧发酵及成型燃料加工等关键装备技术体系。杜祥琬说，生物质能固体成型燃料技术、液体燃料技术、气化技术、发电等都可替代燃煤利用，通过生物质制造有机化学品，还可替代化石原料制造，推动生物基经济发展。

当前，多个促进生物质能产业发展的政策正在研究推进中，比如将生物质能发电纳入绿电范围、参与调峰等电力辅助服务。生态环境部应对气候变化司司长李高说，在全国碳市场制度设计中应考虑对生物质能发展给予支持，鼓励把符合条件的生物质能项目开发为温室气体自愿减排项目，促进更多金融机构为生物质能项目提供优惠金融服务等。

## **糖与木粉所制餐具可按需降解**

科技日报 2023.4.18

餐具、派对装饰品、食物容器……一次性硬塑料无处不在。事实上，生物可降解塑料并不是置于自然环境中就能完全降解消失，而是需要工业堆肥系统才能完全降解。现在，据《ACS 可持续化学与工程》杂志报道，美国博伊西州立大学研究人员开发出一种用糖和木粉制成的坚固、轻便的材料，可以按需分解。

面包师利用异麦芽酮糖醇（也称“益寿糖”）可以造出较脆的甜品，研究人员希望通过一些天然添加剂降低益寿糖的脆性，创造出一种按需降解的坚固材料。他们将益寿糖加热到类似液体的状态，将其混合在纤维素和木屑混合物中，生产出 3 种不同的材料。他们利用商业塑料制造设备，可以将这些材料挤压成小颗粒，模压成球体、十二面体、棋子和花形茶托。

研究人员所用的添加剂都使益寿糖的强度翻了一番，产生了比聚对苯二甲酸乙二酯（PET）和聚氯乙烯（PVC）等塑料更硬的材料，但质量仍然很轻。在实验中，样品在几分钟内就会溶于水。

用这种材料制成的碟子，由于涂有食品级紫胶和醋酸纤维素，在水中浸泡长达 7 天也毫无压力。而一旦碟子破裂，它们就会在水中迅速分解。

研究人员还将有涂层和没有涂层的物品反复粉碎、溶解和回收，制成的新物品仍与原始物品一样坚固。

研究人员说，这种材料可用于餐饮服务行业和临时装饰用途，不再使用时，可将其粉碎并喷水，就会使它们分解。即使这些物品只是被扔进垃圾桶或以某种方式进入环境，涂层中最轻微的裂缝也会开始分解，变成糖和植物性添加剂，这可能对土壤有益。

## 中科院深圳先进技术研究院研发可持续能量转换的高效低成本催化剂

中国科学报 2023.4.20

中科院深圳先进技术研究院碳中和技术研究所研究员唐永炳、副研究员郑勇平团队成功研发出一种双功能碳基高效催化材料。日前，相关研究成果发表于《自然-可持续性》。

电催化氧化和析氧反应是一系列清洁能源技术的关键反应之一，同时，加快氧化和析氧反应，实现高稳定的双功能氧催化是实现可持续能量转化与存储的关键。

目前最常用的方法是将具有氧化和析氧反应的催化活性材料进行混合制备双功能催化剂，但是这种类型的催化剂均一性较差，且难以对电子结构进行合理优化，导致活性和稳定性欠缺。

研究人员发现，碳材料局部对称性与其活性呈现强相关性，即局部结构对称性越低，催化活性则会增强。他们通过引入高熵催化剂最小化碳材料局部对称性，降低离域电子芳香性，从而激活碳骨架原本惰性的  $\pi$ -电子网络，增强催化剂位点之间的协同作用，让中间态产物与催化位点的作用强弱适中，ORR/OER 可逆过程更容易发生。

该研究有望在燃料（金属）电池、二氧化碳还原、氮还原等清洁能源领域，为催化材料的合理设计提供理论指导。

## 东方电气建成全球最大化学链燃烧示范装置

中国能源报 2023.4.17

本报讯东方电气日前发布消息，该公司建成全球最大的化学链燃烧示范装置，热功率达到 4 兆瓦，为后续开展试验研究奠定坚实基础。与传统碳捕集技术相比，这套装置提供了新的技术路线，还可大幅降低成本。

碳捕集是指将工业生产中的二氧化碳用各种方法捕捉起来，然后储存或者利用的过程。化学链燃烧技术作为一种新型低成本碳捕集技术，其碳捕集成本不到传统碳捕集技术的 1/3，项目研究成果可应用于电力、供热、石化、化工、油气等高排放行业大规模碳捕集，具有显著的环境效益和社会效益。

据悉，作为推动化学链燃烧技术从实验室走向工业大规模脱碳的重要中试环节，这套化学链燃烧示范装置可实现燃料和空气在燃烧过程中不直接接触，在反应器直接得到高浓度二氧化碳的烟气。同时，该技术可使碳捕集引起的供电效率损失从 10% 以上降低到 4% 以内。（董方）

## 生物降解地膜：农田的环保“新衣”

科技日报 2023.4.25

生物降解地膜以在自然环境中可被微生物作用而完全降解的材料为主要成分，添加对环境无害的环保型助剂吹塑制成。在农业生产中，其不仅具有传统 PE 地膜的保墒、增温和杂草防除等功能，在使用后还无需进行人工回收，可以直接翻耕于土壤中，并能在土壤中实现降解，可谓高效又环保。

近日，中国农业科学院蔬菜花卉研究所设施栽培课题组副研究员闫妍博士及其团队在《总环境科学》上发表相关研究成果，为日光温室番茄种植提供了一种全新配方的 PBAT/PLA

腐殖酸生物降解地膜。

在农业生产活动中，地膜覆盖具有抑制杂草、保水保墒、减少养分流失等作用。但普通聚乙烯（PE）地膜在使用过程中产生的地膜残留会破坏土壤结构，不仅会导致土壤肥力下降，还会造成作物根系发育受阻、产量降低以及环境污染等一系列问题。如何在保障粮食安全的同时兼顾生态效益？如何应对传统地膜使用中的残膜污染问题？生物降解地膜或许为解决这些问题提供了新的思路。

### 通过水光热及微生物共同作用实现降解

生物降解地膜以在自然环境中可被微生物作用而完全降解的材料为主要成分，添加对环境无危害的环保型助剂吹塑制成。在农业生产中，其不仅具有传统 PE 地膜的保墒、增温和杂草防除等功能，在使用后还无需进行人工回收，可以直接翻耕于土壤中，并能在土壤中实现降解，可谓高效又环保。

生物降解地膜的主要原料就是能够降解的树脂，包括聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯（PBAT）、聚丙交酯（PLA）、聚甲基乙撑碳酸酯（PPC）及聚羟基脂肪酸酯（PHAs）等。

“生物降解地膜是通过自然界中的水、光、热及微生物的共同作用来实现降解的。”闫妍解释，其原理是当细菌、真菌和放线菌等微生物侵蚀塑料薄膜后，由于细胞的生长使聚合物组分水解、电离或质子化，发生机械性破坏，分裂成低聚物碎片。而真菌或细菌分泌的酶会使水溶性聚合物分解或氧化降解成水溶性碎片，生成新的小分子化合物，直至最终分解成水和二氧化碳。

在具体评价生物降解地膜性能方面，我国采用全生物降解农用地面覆盖薄膜的产品标准，综合考虑土壤、气候、区域环境等对生物降解地膜机械性能、自然降解、耐候性、作物生育期匹配性等指标的影响。“按照有关规定，我国使用的生物降解地膜必须要符合国标 GB/T35795-2017 的相关要求。”闫妍说。

当前，农业可持续发展要求使得生物降解地膜的研发工作脚步加快，这也助推了可降解地膜在包括海南、新疆、内蒙古、山东等多个省区市的推广应用，应用范围涵盖了花生、马铃薯等 20 多种经济作物。全国多地在开展废弃农膜回收利用的同时，也在积极推广示范生物降解地膜，推动农业绿色发展，减少农村环境污染。

以 PBAT 和 PLA 为主要成分的生物降解地膜，也已在全国 20 余个省市 10 余种大田及经济作物、蔬菜种植上得到大面积应用。

### 科技创新助力生物降解地膜不断进步

早在 1973 年，英国科学家格里芬就率先提出了生物降解塑料的概念。通过在惰性聚烯

烃中加入天然淀粉作为填充剂，格里芬制成了可生物降解的淀粉 PE，这一具有重大意义的突破距今已有 50 年。

20 世纪 80 年代初，英国研究人员发明了聚  $\beta$ -羟基丁酸酯（PHB）的提取和纯化方法，并将其制成薄膜。PHB 是 PHAs 的一种，PHAs 则是由微生物利用可再生的原材料（如多糖、醇类和低分子量的脂肪酸等）合成的一种生物聚酯。

我国在 20 世纪 90 年代初开始投入 PHAs 生物降解塑料的研究。当前有多所高校从事生物降解地膜原料方面的研究工作，一些科研单位和生产企业在 PBAT、PHAs 等降解材料的研发方面取得了许多成果。

陕西科技大学李成涛副教授团队经过近 10 年的技术研发与攻关，成功研制出降解速度可控型全生物降解地膜，该地膜在农作物采收后可实现自然条件下完全生物降解。同时，根据农业生产需要，团队研制的产品分为白色和黑色两种，白色地膜可实现保温保湿保墒，黑色地膜在保温保湿保墒的基础上，还能够抑制杂草生长；在地膜中，他们还添加了生物基全生物降解材料——植物纤维素，既调节了生物降解地膜的生物降解速度，又能提高植物源纤维素的综合利用价值，实现农林废弃物的高值资源化利用。

而闫妍团队制作的 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜，在保障降解速度快、满足番茄生长需求的基础上，在覆盖初期还有理想的水热保持与调节性能。与覆盖 PE 地膜和 PBAT/PLA 木质素生物降解地膜相比，覆盖 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜能显著提高土壤电导率和有机质含量，土壤真菌毛壳菌属的相对丰度也有所增加，这些都更有利于作物的生长。此外，覆盖 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜的番茄，在产量、可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖和番茄红素等指标上，相较于覆盖 PE 地膜的番茄也有显著提高，而总酸和硬度则显著降低。

经过观察，研究团队发现，实验中覆盖的 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜在种植结束时已经达到 2 级降解。通过 SEM 电镜扫描，研究团队发现，PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜使用后其表面呈现出明显的疏松多孔结构。

“在日光温室秋冬茬番茄栽培中覆盖 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜，不仅可以提质增产，还能有效减少‘白色污染’问题。”闫妍告诉记者，除了应用于日光温室番茄的生产，科研团队还在积极进行相关试验，根据作物的生育期、栽培需求等不同特点，及时调整新型地膜的厚度和颜色等，希望 PBAT/PLA 腐殖酸生物降解地膜也能够广泛应用于甘蓝、萝卜、草莓等多种作物的生产中。

### **降成本精技术方能扩大推广使用规模**

“尽管生物降解地膜的性能突出，但现阶段它的生产成本还比较高，基本是传统 PE 地

膜的两倍以上。”闫妍表示，生产成本降不下来，是生物降解地膜在实际推广使用中的一大限制因素。

此外，采用 PBAT 的生物降解地膜还存在水气阻隔性不佳、破裂时间和降解可控性差等问题。在生产功能方面，生物降解地膜也有待加强。“比如物理机械性能偏差，机械强度不够，在铺设的过程中可能会导致地膜被刺破，影响农事作业；增温保墒方面的能力相较于传统地膜也比较弱，不利于作物的生长发育等。”闫妍说。

生物降解地膜如何保墒、降低成本，这些都是一直以来研究人员研究的热点问题。未来科研人员对生物降解地膜的进一步优化，也将主要聚焦在降低成本、提高机械性能、增强降解可控性等几个方面。

随着生物降解地膜性能的不断提高和改性机制的成熟，这一领域的研发、生产和应用都将迎来新的机遇。生物降解地膜具有巨大的应用潜力和开发潜力。

闫妍认为，尽管生物降解地膜仍然存在一些缺点，但通过改进生产和加工技术，其依然有望实现低生产成本、高降解效率和良好的机械性能，并以此来促进农业绿色可持续发展。

### “新远海群落”诞生

## 太平洋垃圾带形成生态系统

科技日报 2023.4.20

根据《自然·生态与演化》发表的一项研究，通常只栖息在沿海地区的海洋无脊椎动物，被发现在太平洋东北部亚热带环流的远海塑料碎片中生活和繁殖，这一区域又被称为太平洋垃圾带。

人们已经知道，海洋生物会在漂浮碎片上分散到远海，而塑料物品相比于自然漂浮物能提供更长久的表面，因为后者降解要快得多。但如今日益增加的塑料结构会在何种程度上作为不同类型海洋物种在远海上更长久的家园，尚未得到很好的研究。

在 2018 年 11 月到 2019 年 1 月间，美国史密森尼环境研究中心科学家团队在东北太平洋副热带环流收集了 105 个漂浮的塑料碎片，70.5%的碎片中发现了活沿海物种的证据。他们在碎片中识别出 484 种海洋无脊椎生物，其中 80%是通常发现于海岸栖息地的物种。但漂浮在塑料上的沿海生物如节肢动物和软体动物的数量，是正常生活于远海的远洋物种的 3 倍还多。

团队指出，在绳索上所有生物的多样性最高，而沿海生物则在渔网上多样性最高。他们

还在沿海和远海物种中都发现了有性生殖的证据，包括在水螅（水母和珊瑚的近亲）和端足类、等足目动物（两种都是甲壳类动物）中。

研究团队认为，这一发现表明，在可能数年迁移数千公里的塑料碎片上，源自沿海的物种能够生存和繁殖，代表了一个新的海洋生态群落类型（他们称之为“新远海群落”），但仍需要更多研究理解这些物种如何生存，及其生态和演化后果。

## “吃掉”塑料，角质酶或可对抗“白色污染”

科技日报 2023.4.25

PBAT 具有规则的晶体状的分子结构，聚合物纤维排列得非常紧密，寻找能够“咀嚼”PBAT 的降解酶非常困难。为此，郭瑞庭团队通过大规模筛选、寻找合适的酶，终于发现了一种可用于降解 PBAT 地膜的角质酶 TfCut。这种酶可以在两天内快速将 PBAT 地膜分解成大碎片、小颗粒直至完全消失。

农田提供给我们丰富的农作物，然而农用地膜的大量使用却给土地带来严重的“白色污染”。近年来，人们对聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯（PBAT）塑料和农用地膜危害的关注度明显提高，科学家们也投入精力不断研发塑料降解技术。

近日，湖北大学生命科学学院、省部共建生物催化与酶工程国家重点实验室和湖北洪山实验室郭瑞庭教授团队，通过研究利用结构生物学和酶学等技术，发现角质酶可以实现高效降解多聚物 PBAT，同时阐明了相关的催化机制。相关研究论文日前发表在国际期刊《自然·通讯》上。

### 寻找能“咀嚼”PBAT 的降解酶

据介绍，PBAT 是一种由己二酸、丁二醇和对苯二甲酸缩聚而成的新一代塑料。它有着和塑料聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）类似的分子结构。因其具有优良的延展性、热稳定性和可塑性等特性，被广泛应用于农业（农用地膜）、纺织业以及食品包装等领域。

然而随着 PBAT 的广泛应用，PBAT 废塑料的大量积累也给环境造成了很大压力。一直以来，生物酶法绿色降解塑料可能是解决塑料污染问题的最佳方案之一。然而，PBAT 具有规则的晶体状的分子结构，聚合物纤维排列得非常紧密，寻找能够“咀嚼”PBAT 的降解酶非常困难。

为了解决上述难题，郭瑞庭团队通过大规模筛选、寻找合适的酶，终于发现了一种可用于降解 PBAT 地膜的角质酶 TfCut。

“这种酶可以在两天内快速将 PBAT 地膜分解成大碎片、小颗粒直至完全消失。”论文共同第一作者之一、湖北大学副教授杨钰介绍，他们发现其降解过程主要有 BTa、ABTa 和 TaBTa (Ta=TPA) 3 种中间产物，以及终产物 TPA 产生。

研究团队观察这 4 种产物的变化，发现 ABTa 和 TaBTa 会在 8 小时左右达到最高值后逐渐下降至消失。48 小时后，反应产物主要是 TPA 和 BTa。PBAT 降解产物有许多种可能，但是角质酶 TfCut 降解 PBAT 的过程中却只出现了这 4 种产物。

### 改造角质酶还能减少原油消耗

郭瑞庭团队前期发现将角质酶 TfCut 的大二元体(H224-F228)改造成小二元体(S224-I228)后，其降解 PET 塑料的活性明显升高。于是他们将该策略应用到 PBAT 的降解后发现，改造的角质酶 TfCut 小二元体突变（简称 TfCut-DM）降解反应 48 小时后只剩下 TPA，该结果将有利于实现 PBAT 降解后 TPA 的循环利用。

郭瑞庭指出，TPA 是制备 PBAT 的原料之一，来自于原油，受供需关系影响，近年原油价格持续走高，PBAT 生产成本大幅上涨。

如果可以将 PBAT 降解产物 TPA，重新回收用于合成 PBAT 或者其他多聚物，就可以实现 PBAT 循环利用并减少原油的消耗，这将具有良好的产业应用价值。

此外，农用地膜在使用时都会受到太阳照射，因此该团队用紫外线照射 PBAT 诱发交联反应后测试发现，野生型 TfCut 和 TfCut-DM 均可以高效地降解已经发生交联反应的 PBAT。这一发现为角质酶降解 PBAT 的应用研究打下坚实基础。

郭瑞庭说，对比发现，野生型 TfCut 活性区入口处较为突出。而 TfCut-DM 活性区入口处较为平坦，更有利于与 PBAT 长链的结合，这从结构上解释了 TfCut-DM 降解活力提高的原因。

综合上述结果，郭瑞庭团队绘制了角质酶 TfCut 降解 PBAT 的示意图：角质酶 TfCut 首先由催化三联体行使内切水解酶功能，生成以 TPA 为末端的反应中间产物。而改造后的 TfCut-DM 酶活更高，终产物为 TPA，将更有利于实现 PBAT 酶水解后产物的回收循环利用。

## 生物质能：多元化发展才能走得更远

中国能源报 2023.4.24

“潜力很广阔、现实很弱小”——在日前召开的第四届全球生物质能创新发展高峰论坛上，当与会嘉宾谈起我国生物质能发展的未来与当下，无论是主管部门、行业组织、龙头企

业，还是高等院校、金融机构，几乎都给出了类似的评价。

《3060 零碳生物质能发展潜力蓝皮书》显示，我国生物质能开发潜力约为 4.6 亿吨标准煤，但目前实际转化为能源的资源不足 0.6 亿吨标准煤，转化率仅约为 13%。

碳达峰碳中和目标下，如何激发起生物质能的巨大潜力？

### **方向：多元化发展提升产业附加值**

根据中国产业发展促进会生物质能产业分会日前发布的《2023 中国生物质能产业发展年鉴》，当前，我国生物质能的利用方式主要为生物质发电、生物天然气、生物质清洁供热、生物液体燃料、热解气化等，其中发电仍是最主要的利用形式。

在国家能源局新能源和可再生能源司副司长王大鹏看来，多元化发展、提升产业附加值是我国生物质能转型升级的关键所在。中国工程院院士、国家能源咨询专家委员会副主任杜祥琬指出，生物质能既可以用于发电，又有丰富的非电利用场景，而且是唯一一种可以通过固、液、气多种形态进行利用的非化石能源，要充分利用这一特质对生物质能采用多元全产业链的模式进行开发。

杜祥琬指出，以瑞典为例，当前，瑞典生物质能占一次能源的比例达到约 34%，通过“生物柴油+生物气+发电”的方式，生物质能在瑞典的碳减排贡献度达到 25%左右。“相比之下，我国生物质能仍有较大开发利用潜力。”

为此，王大鹏指出，在发电利用方面，要继续挖潜，将生物质能发电纳入绿色电力证书的合法范围，推动生物质发电项目利用其灵活、可控的特性参与深度调峰等电力辅助服务，同时，鼓励发电项目因地制宜向热电联产转型升级。在非电利用方面，更要积极稳妥推动生物质天然气、生物质能清洁供暖等试点示范，鼓励大型龙头企业先行先试，培育发展生物质能多元化利用新型市场。

### **关键：狠抓“煤化生物质”等绿色技术攻关**

要实现多元化开发利用，技术环节的创新必不可少。中国沼气学会副理事长、国际能源署生物质能中国组组长任东明表示，当前，中国要狠抓生物质能领域的绿色低碳技术，诸如生物质能碳捕集和封存、生物质制氢等技术更要加大攻关力度。

中国农业大学生物质工程中心教授程序坦言，在原料特性层面，生物质资源具有能量和质量密度低的先天不足。“这一短板导致原料在收、储、运各环节的难度提升、成本增加，同时资源转化路径受限、效率低下，这是造成当下几乎所有生物质企业成本高企、难以摆脱补贴实现真正赢利的根本原因。”

要破解这一症结，中国科学院院士、中国工程院院士石元春表示，需通过创新性技术从

根本上改变生物质的能量和质量密度属性，打破以秸秆等原材料作为生物天然气主要原料的技术瓶颈。

以“煤化生物质”路径为例，石元春研究团队指出，参考现代煤化工产业的发展历程，通过“煤化生物质”的方式，获得合格的工业化生物基合成气流，建立生物基合成气平台，衍生大批后续产业，或可成为生物质产业彻底“翻身”的一大希望。

程序透露，目前，国内企业已经在“煤化生物质”领域做出了一定尝试，使用 1.3 份生物质原料加上 0.2 份过热蒸汽，便可转化出 1 份“煤化生物质”。利用“煤化生物质”技术，参考煤制氢工艺路线，还可制备出生物基富氢合成气。程序表示，这种新型“绿氢”，不仅具有零碳排放的特点，而且在储、运、用方面均比纯氢更安全、稳定，成本也更加低廉。

### **展望：发电、供热、液体燃料等多点开花**

在企业和科研机构发力技术攻关的同时，国家层面又将为行业创造怎样的发展环境？

国家发改委环资司资源利用和循环经济处处长程慧强表示，放眼未来，国家发改委将致力于完善行业法律法规，加快修订《循环经济促进法》，在立法层面制定有利于生物质行业多元化发展的基本制度。同时，从健全生物质收储运体系、资源化利用体系和政策体系方面推动生物质能多元化利用。

“除了政策引导扶持外，行业更需要企业的主动作为，我们也倡议企业以科技创新为引领，加强生物质能技术和装备研发，注重多元化发展，不断提升生物质能综合效益和产品附加值。”程慧强说。

《2023 中国生物质能产业发展年鉴》预测，结合目前我国生物质能发展现状，预计到 2030 年，我国生物质发电装机容量将达到 5000 万千瓦左右；生物质清洁供热（含热电联产）作为近期发展的重点，预计到 2030 年，生物质清洁供热面积将达到 4 亿平方米；生物天然气作为诸多领域脱碳的重要手段，预计“十四五”末，年产量将超过 10 亿立方米，2030 年达到 30 亿立方米。而生物液体燃料将逐步应用于航运、海运，预计到 2030 年，年产量将达到 2500 万吨。

## **首次提出离子补偿重构策略强化催化位点构筑**

中国科学报 2023.4.24

近日，扬州大学物理科学与技术学院教授许小勇团队首次提出离子补偿重构策略强化催化位点构筑，为抑制催化剂离子泄漏性失活提供了新思路。相关研究成果发表于《先进科

学》。

据悉，利用可再生富余电力电解水制氢是生产高纯绿色氢燃料的可持续路径，能够实现深度脱碳，符合我国“双碳”战略目标。许小勇指出，当前技术成本过高是电解水制氢规模化发展的瓶颈。为了实现降本增效，迫切需要开发更为高效、稳定、廉价的催化剂促进水氧化-还原反应动力过程，特别是针对动力过程复杂且缓慢的水氧化析氧反应（OER）。

镍铁羟基氧化物是目前公认的碱性 OER 高活性催化剂，但在连续运行时通常会发生铁泄漏，导致活性衰减。为此，许小勇团队基于课题组对电化学自重构机制的理解，提出离子补偿重构方案构筑镍铁羟基氧化物，实现了铁（Fe）配位自适应强氧化的热力学环境，解决了镍铁羟基氧化物催化剂连续高强度运行中 Fe 偏析问题，首次演示工业级电流密度 500 毫安/平方厘米稳定运行 500 小时以上。

该研究表明，通过动态重构演化的双金属氧桥配位，不仅能够协同催化增强本征活性，而且能够强化热力学稳定性。研究工作还论证了热力学自适应重构工程是开发高效能催化剂的有效方案。

## 五、太阳能

### 三部门发布《关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知》

#### 加快大型光伏基地建设

中国电力报 2023.3.31

3月28日，自然资源部办公厅、国家林业和草原局办公室、国家能源局综合司联合发布《关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知》（以下简称《通知》）。《通知》强调，引导光伏发电项目合理布局，要做好光伏发电产业发展规划与国土空间规划的衔接，鼓励利用未利用地和存量建设用地发展光伏发电产业。

《通知》要求，进一步支持绿色能源发展，加快大型光伏基地建设。各地要认真做好绿色能源发展规划等专项规划与国土空间规划的衔接，优化大型光伏基地和光伏发电项目空间布局。在市、县、乡镇国土空间总体规划中将其列入重点建设项目清单，合理安排光伏项目新增用地规模、布局和开发建设时序。同时，在严格保护生态前提下，鼓励在沙漠、戈壁、

荒漠等区域选址建设大型光伏基地；对于油田、气田以及难以复垦或修复的采煤沉陷区，推进其中的非耕地区域规划建设光伏基地。项目选址应当避让耕地、生态保护红线、历史文化保护线、特殊自然景观价值和文化标识区域、天然林地、国家沙化土地封禁保护区等，涉及自然保护地的，还应当符合自然保护地相关法规和政策要求。

在加快办理项目用地手续方面，《通知》明确，建立用地用林用草联审机制，及时办理征地或租赁等用地手续。各地自然资源、林草主管部门要建立项目用地用林用草审查协调联动机制，对于符合国土空间规划和用途管制要求、纳入国土空间规划“一张图”的国家大型光伏基地建设范围项目，在项目立项与论证时，要对项目用地用林用草提出意见与要求，严格执行《光伏电站工程项目用地控制指标》和光伏电站使用林地有关规定，保障项目用地用林用草合理需求。光伏发电项目用地涉及使用建设用地的，可依照土地征收规定办理土地征收手续。

## 北京打造光伏与城市融合发展样本

中国能源报 2023.4.3

3月28日，北京市发改委等四部门发布《关于印发推进光伏发电高质量发展实施意见的通知》（以下简称《实施意见》）和《关于印发推进光伏发电高质量发展支持政策的通知》（以下简称《支持政策》），提出推进光伏发电高质量发展的工作措施和支持政策。

北京市发改委相关负责人指出，光伏发电资源潜力大、技术成熟，是北京市开发利用条件最好的可再生能源应用形式之一。大力发展光伏发电对驱动城市高质量发展、支撑能源绿色低碳转型、提高可再生能源利用比重具有重要意义。

### ■■政策“组合拳”力促产业发展

《实施意见》提出，将光伏发电等可再生能源应用作为推动城市绿色发展的重要手段，统筹城市规划建设管理与光伏发电高质量发展，坚持宜建则建、综合应用，深入推进分布式应用、多元耦合发展。强化科技创新、风貌融合、生态协调、安全实用，推进高起点规划，高品质建设，高水平应用，高效率服务，高标准管理。“十四五”时期，力争实现全市新增光伏发电装机规模达到190万千瓦。

北京市发改委相关负责人表示，为完善北京市光伏高质量发展路径，将鼓励社会广泛参与光伏发电应用。同时，通过建立规划标准约束机制，加快推动光伏发电由政策扶持进入市场化发展阶段的进程。

《支持政策》明确，对北京市行政区范围内 2025 年 12 月 31 日前并网发电、并符合条件的光伏发电项目给予资金支持。对个人利用自有农村合法住宅建设的分布式光伏发电项目，学校、社会福利场所等执行居民电价的非居民用户分布式光伏发电项目和执行大工业电价的分布式光伏发电项目，分别给予每千瓦时 0.1 元、0.26 元、0.03 元的补贴。同时，也将支持光伏新技术、新材料、新模式应用；加快基础设施、公共机构、城市更新、市级重点工程、产业园区等领域光伏发电项目整体规划、有序实施。支持结合关停废弃矿区生态修复、垃圾填埋场生态提升、设施农业建设的光伏发电项目建设。对以上类型的光伏发电项目，分别给予不高于光伏发电系统建设投资 30%、20%和 10%的资金支持。

上述负责人透露：“在明确规划、设计、建设、应用要求的基础上，将加大光伏发电等可再生能源项目的‘放管服’力度。此外，还将优化备案管理工作，提高备案效率，强化并网服务，压缩办理时间，严禁随意增加附加条件，为企业创造良好发展环境。”

### ■ ■ 屋顶资源丰富提供发展条件

据了解，从 2015 年开始，北京市就积极支持光伏发电的推广应用。截至 2022 年底，全市光伏发电装机容量达到 95.3 万千瓦，较 2015 年增长约 5 倍，年发电量 9.1 亿千瓦时，相当于 25 万个家庭 1 年的用电量。不过，相对于“三北”地区，北京市光伏发电装机规模较小，不具备量级优势。

对此，上述北京市发改委相关负责人说：“本次政策研究制定过程中，充分考虑了北京城市规模大、建成区多、规划管理要求高的发展特点，提出努力构建光伏发电与城市高质量发展融合发展的新模式。强化光伏发电在产业园区、城镇建筑、基础设施、农业农村等重点领域的应用。”

天合光能中国区产品与市场总监唐正恺指出，受城市规划建设影响，虽然北京市不具备发展大基地项目所需的土地条件，“但北京市各类屋顶资源丰富，不管是农宅、学校，还是社会福利场所、大型车站、停车场等，都具备安装光伏发电系统的条件。”

“大基地开发模式并不是实现‘双碳’目标的唯一途径。”唐正恺称，随着我国光伏产业成熟度的不断提升，技术和产品持续更新迭代，呈现出高效率、高可靠的发展特点，可适应各细分市场，足以满足分布式光伏项目需求。

中国光伏行业协会副秘书长刘译阳认为，各地发展光伏产业要因地制宜，充分发挥自身优势。“一提起光伏发电，大家首先想到的可能就是‘三北’地区。分布式和集中式并举是非常明确的政策导向，虽然我国分布式光伏近年来进入快速发展阶段，但在中心城市的应用仍要加大探索。”

## ■ ■ 以创新激发市场活力

北京丰台站屋顶分布式光伏项目、天竺综合保税区整区光伏试点、大兴机场光伏综合应用项目、北京奔驰顺义工厂光伏发电项目、北排酒仙桥再生水厂太阳能分布式光伏发电项目……一个个试点示范项目的落地，为北京市光伏产业发展奠定了坚实基础。

刘译阳指出，北京市光伏发电与多种场景融合发展路径颇具意义，给传统意义上不具备规模化开发光伏项目的城市带来更多灵感。这些经验将为类似条件的区域发展光伏提供借鉴。

在北京市发改委相关负责人看来，创新发展城市光伏发电新技术、新场景、新业态，将充分激发市场活力，在促进北京光伏发电装机规模提升的同时，还将促进企业技术和产品进步，实现产业正循环发展。

唐正恺表示，在政策支持下，预计北京市光伏发电项目将从小范围试点示范进入扩大应用新阶段。“随着标准化屋顶项目不断落地，市场对产品的要求将越来越高。定制化、差异化产品需求将逐渐显现，促进技术和产品再升级。以车站为例，目前项目多集中在普通屋顶，未来不规则、波浪式或折叠式车棚屋顶也将陆续出现安装光伏发电系统的需求，届时市场对产品定制化需求也将增长。”

唐正恺补充说：“光伏发电具有波动性和不稳定性，给电网安全稳定运行带来挑战。在分布式光伏装机规模持续增长的背景下，未来光伏项目对储能的需求将进一步显现。这一发展趋势正促进行业内企业创新，开发符合市场需求的新产品。”

## 海上光伏商业化渐行渐近

中国能源报 2023.4.3

“我国海岸线绵长，近海海域辽阔，理论上可开发海上光伏的海洋面积达到约 71 万平方公里，可安装海上光伏超百吉瓦。”在日前举行的近海光伏发展论坛上，隆基绿能中国地区部副总裁夏珂对我国海洋光伏的发展空间给出自己的判断。

从水库、湖泊走向滩涂、海洋，中国光伏正在开启新一轮探索。

## ● ● 资源禀赋好投资收益显 ● ●

在国家可再生能源信息管理中心副主任宋述军看来，随着光伏全产业链发展的成熟完善，当前，我国已经具备海上光伏项目规模化发展的初步条件。

“沿海地区太阳能资源丰富，在相同光照条件，由于海面开阔，没有遮挡物，日照时间较长，太阳能可以被更充分地利用。”不仅如此，宋述军指出，综合考虑水深、水温、盐度、

海风等影响因素，我国渤海、黄海、东海北部水域较浅，受台风影响相对较弱，海水盐度也相对较低，海域的建设条件优越。

庞大的消纳市场更令人心动。夏珂称，我国沿海地区经济体量大、发展速度快、用能需求高，特别是近年来，大量外向型企业对于绿色电力的需求与日俱增。受限于资源禀赋、土地空间等现实情况，部分沿海城市的电力保障长期以来依赖远距离的外送电，而且化石能源占比颇高。海上光伏项目规模化开发，将为沿海地区能源供给提供新的发展路径。

据公开信息统计，截至去年5月，我国确权海上光伏用海项目共28个，累计确权面积约1600公顷，少数项目已实现部分容量并网发电。宋述军表示，单体并网项目正在为海上光伏的规模化开发提供工程经验。“从目前已建成的并网单体项目来看，在沿海各省较高的燃煤标杆电价和广阔消纳的保障下，项目具有一定的投资收益。”

### ●●政策在完善技术可加强●●

广阔的市场前景下，现实的挑战也摆在眼前。

目前，我国山东、浙江、江苏等沿海省份都在积极推进海上光伏的开发，相应产业规划和支持政策也相继出台。但夏珂坦言，来自政策层面的挑战可能仍是后续海上光伏项目建设需要面临的主要挑战之一。“比如在用海许可相关前期手续的办理上，整体审批周期还是比较长，各级政府和各不同主管部门间的协调难度依然很大。而且这只是众多前期工作中的一个环节，整个项目的前期审批工作耗时耗力，涉及多方面的利益相关方，阻力还是不小的。”

此外，技术突破与成本控制的平衡也在考验先行者的实力。

浙江大学教授赵西增认为，从技术出发，现有水面光伏系统整体力学性能比较差，要考虑浮体结构、极端耐受材料性能，从而适应海洋环境，保障系统长效运行。“比如，光伏组件排列是块体结构，波浪对浮体的冲击大，连接处部件的可靠性就至关重要。”

对此，夏珂指出，目前水上光伏技术已经实现规模化应用，发电量、安全性等方面也得到了业界认可，海上光伏在探索阶段可以借鉴较为成熟的水上光伏相关技术，如今年并网的国能聊城202兆瓦水库光伏项目，在组件选型、智慧运维、浮体系统等方面均应用了行业最领先技术。

“不过，海洋的恶劣环境的确对组件的适配性提出更高要求，如在北方海域，可能会出现冰块撞击组件阵列的情况。在一些海水盐度偏高的海域，盐雾结晶附着在组件表面，可能带来发电量的损失，这些都是我们要探索和解决的问题。”夏珂说。

据悉，隆基绿能已经在尝试配合参与一些小规模实证项目，通过具体实践检验产品安全可靠。 “针对沿海地区普遍的高温高湿、高盐雾、高风暴潮等环境特征，一方面隆基从原

材料端实现对终端分析的管控，例如组件边框选择更耐腐蚀的电泳膜和更高强度的铝型材。”夏珂表示，“我们产品在实验室的表现是可观的，但依然需要实践的检验，这也是我们做实证项目的初衷。”

### ●●成本正下行商业化可期●●

高要求必然导致高成本。夏珂表示，由于目前实证电站的规模较小，边际成本无法降低，所以很难用商业化的眼光去看待海上光伏电站的建设成本。“但最近一两年时间内，很多企业、设计院和高校都开始参与海上光伏的产品技术研发、施工方案优化等工作，整个电站的开发建设成本正在下行。”

除去提升主要产品的适配性外，夏珂指出，引入数字化、智能化的设计和运维手段也是海上光伏降本增效的方向之一。

夏珂透露，隆基绿能已经在海洋光伏数字化设计软件开发上进行了一定的技术储备。“我们在软件内嵌入了成熟的算法，并且基于实证项目的数据对算法进行持续迭代。简单来讲，在软件中输入所在海域，并填入浪高、风速、淤泥层厚度、气温等基础数据，系统就会快速给出一个优化设计方案，组件支架的最优倾角是多少、阵列怎么排布都会包含在方案中。”

在夏珂看来，基于这样的初步设计方案，设计和建设团队可以结合海域的具体情况进行更有针对性的细节完善，“可以大大提升这个整体工作效率，从而降低成本”。

同样，在运维环节，智能化的平台可以集中采集海上电站的实时数据，构建起设备和电站的数字化模型，同时对电站运行指标进行可视化的监控，基于智能算法，可以精确定位低效设备，结合无人机巡检、机器人清洗等运维手段，及时发现问题并快速解决。夏珂说，“电站能够多发电，收益自然就会提升，成本压力也会随之降低。相信未来 3-5 年，也许更快，我们就能在国内看到商业化运营的海上光伏电站。”

## 日本：开发出“隐形”太阳能电池

中国高新技术产业导报 2023.4.3

日本东北大学研究人员使用透明且柔韧的半导体原子片“过渡金属二硫属化物”（TMD）研发出一种具有极高透明度的隐形太阳能电池，其可见光透射率约为 80%，且已实证该电池可为电子器件供电。

透明太阳能电池可安装于建筑物窗户、汽车前挡风玻璃、眼镜、人体皮肤和蔬菜大棚等

处。以往透明太阳能电池的可见光透射率多在 60% 以下，而且是肉眼可见的“半透明太阳能电池”。研究团队注意到 TMD 作为二维半导体材料，其厚度仅为原子级，并于 2017 年提出了基于 TMD 的“肖特基发电”新机制。在本次研究中，团队以透明的氧化铟锡（ITO）材料作为电极，成功开发出了可见光透射率约 80% 的高透明度太阳能电池，肉眼几乎看不见。此外，团队还找到 TMD 太阳能电池纳米级基本单元的最佳结构，并将它们集成于 1 平方厘米范围内，获得 420pW 的发电功率，达到了可实际为电子元件供电的水平。团队表示今后将通过连接多个基板以推动模块大型化，并考虑推动大功率发电以驱动更多器件。

## 三结钙钛矿光伏电池效率创新高

国家电网报 2023.4.18

近日，加拿大科学家领导的国际科研团队研制出一种光电转化效率创纪录的三结钙钛矿太阳能电池，朝开发出硅基太阳能电池廉价替代品的目标迈进了一大步。

太阳能电池大部分由超纯硅单晶片制成，生产超纯硅需要耗费大量能源。而钙钛矿太阳能电池由钙钛矿多晶薄膜制成，这些薄膜通过低成本溶液处理技术涂覆于材料表面，每一层能吸收不同波长的光，从而有效利用整个太阳光谱。而硅总是吸收相同波长的光。一般而言，钙钛矿顶层吸收波长较短的光，中间层吸收中等波长的光，底层吸收更长波长的光。

研究团队首先使用了名为 ABX<sub>3</sub> 的钙钛矿材料，其由铯、铅、锡、碘、溴等混合制成，顶层由混合卤化物钙钛矿组成，具有高比例的溴和碘。研究人员表示，高频光子的轰击会导致顶层富含溴的相与富含碘的相分离，从而使缺陷变多并导致整体性能下降。

对此，研究团队进行了两方面的改进：去除有机分子形成全无机钙钛矿结构，引入铷元素。他们表示，铷的引入抑制了光诱导的相分离问题，得到的铷/铯混合无机钙钛矿拥有更好的光稳定性。在此基础上，他们设计并建造了一个三结钙钛矿电池，在 3.21 伏的开路电压下测得其效率为 24.3%。

## 国家能源局：推动光热发电规模化发展

中国能源报 2023.4.10

《国家能源局综合司关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》（以下简称《通知》）日前发布。《通知》要求，积极开展光热规模化发展研究工作，力争“十四五”期间，全国光热发电每年新增开工规模达到 300 万千瓦左右。

光热发电兼具调峰电源和储能的双重功能，可以实现用新能源调节、支撑新能源，可以为电力系统提供更好的长周期调峰能力和转动惯量，具备在部分区域作为调峰和基础性电源的潜力，是新能源安全可靠替代传统能源的有效手段，是加快规划建设新型能源体系的有效支撑。

近年来，国家能源局组织各地建设了一批太阳能热发电示范项目，推动我国光热发电技术水平不断提升，产业配套能力显著增强。当前，需要促进光热发电规模化发展，充分发挥光热发电在新能源占比逐渐提高的新型电力系统中的作用，助力加快规划建设新型能源体系。

为此，《通知》要求积极开展光热规模化发展研究工作。开展全国重点区域光热发电资源调查评估、规划布局研究、光热发电与风电光伏发电实质性联营研究、光热发电技术创新示范等工作，内蒙古、甘肃、青海、新疆等光热发电重点省份能源主管部门要积极推进光热发电项目规划建设，根据研究成果及时调整相关规划或相关基地实施方案，统筹协调光伏、光热规划布局，合理布局或预留光热场址，在本地新能源基地建设中同步推动光热发电项目规模化、产业化发展，力争“十四五”期间，全国光热发电每年新增开工规模达到 300 万千瓦左右。

目前，国家能源局在第一、二批以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地建设项目清单中已明确了约 150 万千瓦光热发电项目，需要相关省区和企业确保项目质量的前提下加快项目建设。

《通知》要求，结合沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设，尽快落地一批光热发电项目。已上报沙戈荒风光大基地实施方案中提出的光热发电项目，相关省区能源主管部门要尽快组织开展项目可行性研究，并与基地内风电光伏项目同步开工。

《通知》强调，要提高光热发电项目技术水平。各地能源主管部门和企业在新能源基地建设中要充分发挥光热发电调峰特性，科学合理确定基地项目电源配比；拟建和在建项目技术水平要求不得低于国家组织的示范项目；优化光热电站单机规模和镜储等配置，原则上每 10 万千瓦电站的镜场面积不应少于 80 万平方米。鼓励有条件的省份和地区尽快研究出台财政、价格、土地等支持光热发电规模化发展的配套政策，提前规划百万千瓦、千万千瓦级光热发电基地，率先打造光热产业集群。（综合）

## 制备出具有电热疏水润滑效果的薄膜材料

中国科学报 2023.4.26

近日，中科院兰州化学物理研究所（以下简称兰州化物所）固体润滑国家重点实验室材料表面团队通过多层复合制备出一种具有电热疏水润滑效果的薄膜材料。该材料由底层的自黏性聚酰亚胺基膜、中间的电热层和最外侧的疏水自润滑防护层组成，具有表面发热均匀、电热功率可调、机械强度高和易黏结置换的特性，同时表面疏水、润滑，具有优异的抗污染、自清洁、自润滑特性。相关研究成果近日以封面文章形式发表于《ACS 应用工程材料》。

“装备表面冬季结冰是困扰工程技术领域的一大难题，因为结冰问题造成的重大事故时有发生，特别是在航空领域。”兰州化物所副研究员吴杨告诉《中国科学报》，目前飞机防冰除了喷洒提供临时性保护的防冰液外，飞机机翼防冰主要是通过将飞机高温尾气引入机翼部位，加热迎风面实现防冰，这就需要在机翼内部设置复杂管路，与当前飞机轻量化设计的目标相反。而电热涂层为其提供了很好的解决方案。

研究团队将薄薄的涂层材料（微米级别）涂覆在机翼前缘，通过改变涂层厚度和调节施加电压可以实现电热功率（表面温度）控制。聚酰亚胺强度高、耐高温和电绝缘性能优异，将其作为基膜并覆涂导电涂料，再在电热涂层表面喷涂团队自研的疏水润滑防护涂层，可对电热膜进行保护。

整张膜在实验室或者车间就能完成制备，电热涂层厚度完全由设备控制，保证了涂层厚度和膜面电热功率的均匀性。此外，该薄膜最外层使用了团队自研的高分子树脂材料。该材料具有优异的疏水、自润滑效果，水滴在表面接触角大，很难附着，在较小风速下即可实现液体自脱离，避免雨滴蒸发带来的能量损耗。

## 科学家设计出第一种光能酵母

中国科学报 2023.4.20

酵母是碳水化合物的“爱好者”，通过来源于面团、葡萄、谷物的糖和淀粉维持生命，而面包、葡萄酒和啤酒则是令人愉快的副产品。现在，美国研究人员成功使一种酵母将光作为能量，从而减少对碳水化合物的依赖。相关成果日前在预印服务器 bioRxiv 上发表。

未参与这项研究的西北大学地质生物学家 MagdalenaRoseOsburn 说，这项工作是“更复杂的人工光合作用工程模式的第一步”。

这项研究还提出了一个关键的进化转变——光的利用。“这是非同寻常的。”圣母大学真菌细胞生物学家 FelipeSantiago-Tirado 说，“在某种程度上，这就像把动物变成了植物。”

研究人员多年来一直致力于重建光合作用，以探索如何更有效地利用光能，提高植物和

其他生物的生产力。

为了将二氧化碳转化为糖进而为地球上的生命提供燃料，植物依靠一种包括叶绿素在内的蛋白质复合物传送电子和质子，从而进行化学反应并传递能量。但叶绿素复合体需要许多其他分子来完成它的工作。

因此，佐治亚理工学院遗传学家 **AnthonyBurnetti** 和同事 **WilliamRatcliff** 找到了一个更简单的解决方案。他们瞄准了一种被称为视紫红质的蛋白质。在自然界中，细菌、一些原生生物、海洋藻类，甚至藻类病毒都利用视紫红质将光转化为可用的能量。

研究人员首先将一种海洋细菌的视紫红质基因插入培养皿中的酿酒酵母内。**Burnetti** 希望视紫红质能进入酵母的液泡，后者是一个富含酶的囊，可以降解不需要的蛋白质。一种叫作三磷酸腺苷（ATP）的能量分子通过向液泡内注入质子，使液泡内部呈酸性——这是最适合降解的环境。

**Burnetti** 想知道光能是否可以代替它完成这项工作。但该团队的第一次努力失败了，因为由该基因产生的视紫红质蛋白进入了一个不同的区域，后者不是蛋白质降解区域，而用于蛋白质合成。因此，**Burnetti** 转而寻找已知存在于液泡中的视紫红质。他决定使用一种来自玉米黑穗病的真菌病原体。通过在蛋白质中附加绿色荧光标签，他和同事证实，正如所希望的那样，视紫红质已经定位在酵母的液泡中。

**Burnetti** 团队的 **AutumnPeterson** 进一步证明了这种工程酵母确实利用了光。她把新菌株与原始的、未经修饰的酵母放在同一个培养皿中，并将其暴露在绿光下，这是视紫红质最敏感的波长。研究小组发现，感光菌株中的细胞寿命较短，但繁殖速度足够快，比不感光的酵母菌高出 0.8%。**Santiago-Tirado** 说，这是一个“巨大的优势”。**Peterson** 预计，随着时间的推移，在光线下，使用光的细胞最终会取代未经修饰的细胞，就像早期的光使用者可能在亿万年前取代自然界的竞争对手一样。

**Burnetti** 和同事认为，光诱导视紫红质将更多的质子泵入液泡，从而减少细胞在完成这项任务时消耗 ATP 的需求，并释放能量帮助细胞以其他方式生长。增加液泡内的酸度可能会降低液泡外的酸度，导致液泡内的酶工作得更快、消耗得更快，这也可能是这些被改变的细胞死亡率更高的原因。科罗拉多大学安舒茨医学院分子生物学家 **MichaelMcMurray** 说，无论哪种方式起作用，“这显然对酵母细胞有益”。

但这项工作可能无法揭示自然界的视紫红质是如何进化的。“我认为作者过分强调了他们工作的进化意义。”圣路易斯华盛顿大学生物化学家 **RobertBlankenship** 说，“这是一种人工构造，不是自然进化的产物。”

其他人认为这项成果可以应用在工业、医学和基础研究方面。弗吉尼亚联邦大学生物学家 AlaattinKaya 说，这些酵母细胞有助于解释为什么在细胞的生命周期中，液泡酸化有时会导致线粒体失灵，进而加速衰老。

Burnetti 也希望把目标对准线粒体，但却出于不同的原因。“尽管这在自然界中似乎从未发生过，但我们肯定会将视紫红质放入线粒体。”因为线粒体可以有效制造 ATP，添加视紫红质就可以像光合作用一样直接从太阳获取大量能量。在这方面，酵母会更像植物。（文乐乐）

## 光热发电迎来规模化良机

经济日报 2023.4.27

近日，国家能源局发布《关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》提出，结合沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设，尽快落地一批光热发电项目。力争“十四五”期间，全国光热发电每年新增开工规模达到 300 万千瓦左右。这意味着我国光热发电规模化发展拉开序幕。

与常见的光伏电站相比，光热发电并不为人们熟知。光伏发电是根据光生伏特效应原理，利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能，而光热发电则是将太阳能转化为热能，通过热功转换过程发电的系统。其与火力发电的原理基本相同，后端技术设备一模一样，不同的是前者利用太阳能搜集热量，后者是利用燃烧煤、天然气等获取热量。光热发电机组配置储热系统后，可实现 24 小时连续稳定发电。

这样一种高稳定性的可再生能源，对构建新型电力系统具有重要意义。光伏发电和风力发电受气象条件制约，具有间歇性、波动性和随机性等特点，对电力系统的安全性和供电可靠性造成了挑战。随着我国大规模新能源机组占比不断提升，煤电占比持续降低，西部地区风电和光伏依赖煤电打捆外送模式将不可持续。一些特高压外送通道，由于缺少调节电源，通道的输电功率与设计值相差甚远，发出的风电、光伏电力送不出去，弃风、弃光现象严重，造成了资源浪费。

光热发电兼具调峰电源和储能双重功能。光热发电机组配置储热功能后，热量产生时并不全都用掉它们，而是利用加热熔盐的方式存储一部分热量，保存在特制的保温储罐直到需要的时候再取出来。存储在熔盐中的热能可以维持发电数个小时，理论上甚至能达到数天。具备这种特殊能力的光热电站，可实现用新能源调节、支撑新能源，为电力系统提供更好的

长周期调峰能力和转动惯量，是新能源安全可靠替代传统能源的有效手段。电力规划设计总院以新疆电网为例模拟计算光热发电调峰作用，结果发现，假定建设 100 万千瓦至 500 万千瓦不同规模的太阳能热发电机组，可减少弃风弃光电量 10.2%至 37.6%。

同时，光热发电产业链长，可消化提升特种玻璃、钢铁、水泥、熔融盐等传统产业，还可带动新材料、智能控制等新兴产业发展，光热发电规模化开发利用将成为我国新能源产业新的增长点。

为推动我国光热发电技术产业化发展，国家能源局 2016 年启动首批 20 个光热发电示范项目，装机规模总量达 134.9 万千瓦，开启了我国光热发电的商业化进程。通过首批示范项目，带动了相关企业自主创新，突破了多项核心技术，并形成了完整的产业链，目前设备国产化率超过 90%，为后续光热发电技术大规模发展奠定了坚实基础。截至 2022 年底，我国并网发电光热发电示范项目共 9 个，总容量 55 万千瓦。对比“每年新增开工规模达到 300 万千瓦左右”目标，光热发电规模有望迎来高速增长。

但在实际发展中，光热发电规模已被光伏发电远远甩开。目前制约我国光热发电可持续发展的主要因素在于相关政策缺乏连续性，比如，2016 年国家发展改革委核定太阳能热发电标杆上网示范电价后，企业建设热情高涨；2020 年初出台的《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》明确，新增光热项目不再纳入中央财政补贴范围，光热发电的良好发展势头受到明显影响。政策不明确导致当前我国光热发电缺乏市场发展空间，成本也无法通过规模化应用持续降低，处于起步阶段的光热发电产业举步维艰。同时，现行融资环境、土地政策、税收政策无法为光热发电健康发展提供有力支撑。

借着推动光热发电规模化发展的东风，还需鼓励有条件的省份和地区尽快研究出台财政、价格、土地等支持光热发电规模化发展的配套政策，提前规划百万千瓦、千万千瓦级光热发电基地，率先打造光热产业集群。内蒙古、甘肃、青海、新疆等光热发电重点省份（自治区）能源主管部门要积极推进光热发电项目规划建设，根据研究成果及时调整相关规划或相关基地实施方案，统筹协调光伏、光热规划布局，合理布局或预留光热场址，在本省新能源基地建设同步推动光热发电项目规模化、产业化发展。充分发挥光热发电在新能源占比逐渐提高的新型电力系统中的作用，推动光热发电实现关键一跃。

## 六、海洋

# 我国建立常态化深海长期连续观探测平台

中国科学报 2023.3.28

中国科学院海洋研究所研制的多代深海坐底长期观测系统（LOOP）在我国南海冷泉区连续多年布放，实现了对该区域高清影像资料、近海底理化参数等数据的连续获取。相关成果近日以封面文章形式发表于《深海研究》。

深海热液冷泉区域的生物群落变迁、演化以及与周围环境的相互影响均是长时序活动，但目前基于无人缆控潜器（ROV）、载人潜水器（HOV）等水下潜器的短时、随机考察无法满足以上过程的长时间连续观探测需求。为此，研究团队突破水下耐腐蚀技术、能源管理技术等关键技术，探索新型水下布放及回收模式，研制了 LOOP，实现了对观测区域高清影像资料、近海底理化参数等数据及保压流体等样品的综合获取。

与以往的自由落体式着陆器不同，LOOP 为实时视频指导的缆放式着陆器。布放时通过搭载的水下高清摄像头实时观测落点位置，通过科考船配合可较为精确地控制布放位置，并且在海底着陆后仍可通过同轴缆根据实际情况调整观探测参数，保障最优观探测效果。回收时通过同轴缆直接回收。LOOP 在设计之初，已经考虑到各类商业化传感器、自研原位探测装备等科学负载的通信、供电需求。

自 2016 年起，LOOP 已先后多次布放于我国南海冷泉区域，其中，单次最长连续布放天数达 659 天，有效工作时间为 414 天，累计水下布放时间 1070 天。利用获取的数据资料，研究团队发现盐度和溶解氧含量在冷泉喷口附近的水平和垂直方向上具有很强的空间异质性，环境参数的空间异质性可能是冷泉区域化能合成群落空间分布不均的主要驱动因素之一。

据悉，深海坐底长期观测系统提供了一种创新、可控的布放和回收模式，有望成为原位、长期、连续的通用水下观探测平台。

## 德国：建造世界最大科研造波机

中国高新技术产业导报 2023.4.3

由德国联邦教研部出资 3500 万欧元资助改建的实验室波浪水槽将安装目前世界最大的造波机。

该波浪水槽长 300 米、宽 5 米、深 7 米，位于汉诺威中德运河旁，由莱布尼茨大学和布伦瑞克工业大学共同运营，在研究海浪对海岸、植物和地面影响方面已有 40 年历史。经过改造后，水槽中造波机 5 米宽的钢质造波板（30 吨重）将能带动最多 200 吨的水量，不但

可以模拟 2.7 米高的水浪，同时包括洋流和涨退潮情况。改建后该实验装置将用于研究海水运动对海洋风电机、潮汐发电机的影响。

实验室波浪水槽预计于 2023 年完工运营，将通过两个直径 2 米的管道从中德运河以每秒 20 立方米流量注入最多 1 万立方河水。

## 我国首个商用海底数据舱在海南入水

中国自然资源报 2023.4.5

3 月 31 日，我国首个商用海底数据中心首舱在海南陵水下水。

据介绍，海底数据中心是由深圳海兰云数据中心科技有限公司联合国家海洋环境监测中心，对海底数据中心建设海域筛选后落户到陵水黎族自治县英州镇清水湾的项目。数据中心由岸站、水下中继站、水下数据终端和海缆组成。岸站承载电力、网络接入和中央监控等设施，水下中继站是负责电力及网络分发、控制和回传的中间接续水下设施的统称，水下数据终端则集中放置电子信息设备和水下设施。其中，水下中继站和水下数据终端部署在指定目标海底。

海底数据中心的核装备海底数据舱呈圆柱形罐体状，舱内是恒湿、恒压和无氧的安全密闭环境，重量达 1300 吨，相当于 1000 辆小汽车的重量，罐体直径达 3.6 米，与“天和号”空间站核心舱相当，是目前全球最大的海底数据舱，结构设计寿命为 25 年，应用水深超 30 米。服务器安放在海底的数据舱中，以海洋为自然冷源，具有省电、不需淡水、节约土地资源、高安全、高算力、快速部署的优点。

据悉，《海南省海洋经济发展“十四五”规划》提出建设海南海底数据中心，布放 100 个数据舱，并逐步建设以海底数据中心为核心的综合性海洋新技术产业园。

据陵水黎族自治县国际投资促进局相关人员介绍，海底数据中心项目是海南省自贸港数字化建设的“新基建”创新示范工程，还是海南省首例海域立体分层出让项目，政府部门根据企业的海域使用需求仅出让了海床部分，海水和海上空间仍然可以为其他项目和产业服务。（尹建军）

## 深海热液低温溢流区气体释放通量是高温喷发区百倍

中国科学报 2023.4.10

近日，中国科学院海洋研究所基于自主研发的深海原位拉曼光谱探测系统、深海热液温

度探针等原位探测装备，首次发现并证实深海热液低温溢流区的气体释放通量是高温喷发区的 10 倍至 100 倍。相关成果近日在《地质学》上正式发表。

热液喷口释放的大量气体为热液极端生态系统提供了能量和物质来源，并在全球海洋化学循环中扮演重要角色。“但是，长期以来，热液气体释放通量的有效观测手段一直缺乏，传统测量方式无法保证气体浓度测量的准确性，同时较低的采样效率也制约了通量观测的大范围开展，极大限制了我们对热液释放物质在极端生态系统供养和全球海洋化学循环中作用的认识。”论文通讯作者、中国科学院海洋研究所研究员张鑫表示。

因此，研究人员基于水下缆控潜器（ROV）机器人平台开发了多种海底原位观测探测设备，建立了一系列热液气体组分原位定量分析方法，陆续解决了热液气体浓度难以原位观测、喷口流速难以准确测量、热液喷发区域难以厘定评估的技术难题，构建了适用于热液系统释放气体通量评估的原位观测技术体系。

以典型弧后热液系统为研究靶区，科研人员利用“发现”号 ROV 搭载的原位观测装备分别对溢流区和高温喷发区开展了大范围的原位探测，获取了 14 个站位的热液流体的相关数据，并基于超短基线定位系统和视频图像分析手段厘定了热液区流体的喷发区域和面积。

原位观测数据表明，热液靶区的流体温度和气体组分浓度呈现负相关，低温溢流区流体中溶解态气体浓度是高温集中喷发区的数倍至数十倍。基于原位观测数据对热液区气体释放通量的量化评估表明，低温溢流区的气体释放通量是高温喷发区的 10 倍至 100 倍。

该研究揭示了热液低温溢流区在气体释放通量中的巨大贡献，并提示热液低温溢流流体对热液生态系统的贡献很可能远超高温喷发区流体，在未来的热液系统研究中应给予更多关注。

## 全球潮汐能商业化提速

中国能源报 2023.4.17

公开信息显示，目前，全球多国都在部署潮汐能发电项目，市场预计，今年有望成为潮汐能大规模部署元年。

### ■■英国加速部署潮汐能

近日，英国将大规模应用潮汐能和波浪能提上日程，计划在默西河启动一个大型潮汐能项目。该项目主要利用潮差发电，默西河流拥有英国第二高的潮差，设计发电能力至少 1000 兆瓦，投产后可以为英国 100 多万户家庭提供电力，并创造数千个就业机会，预计 10 年内

建成并投运。

去年底，英国利物浦城市地区联合管理局与韩国华湖潮汐电站运营商韩国水资源公司签署合作协议，后者将提供和分享潮汐能知识和经验，帮助英国探索潮汐能前景。华湖潮汐电站装机 254 兆瓦，是目前全球最大潮汐能发电站。

默西河潮汐能项目负责人马丁·兰德日前表示：“我们计划建造一个装置来左右潮水，利用势能即海水高度差来推动潮汐流涡轮机发电。”

利物浦城市地区联合管理局对默西河潮汐能项目前景非常乐观，认为随着清洁创新技术进步，潮汐能时代已经到来。

随着默西河潮汐能项目逐渐铺开，英国潮汐能部署也将进一步提速。据悉，英国首个商业潮汐能项目日前再次扩容，这个由两家英国潮汐能项目开发商牵头的项目位于设得兰海域，涡轮机数量达到 6 台，成为拥有全球涡轮机数量最多的潮汐阵列，同时也于 3 月刷新了全球最长连续每月潮汐流发电时间纪录。

英国政府表示，潮汐能可以在能源脱碳过程中发挥关键作用，全面部署后预计可满足英国 11% 的电力需求。

### ■■ 欧盟海洋能装机亟待扩容

欧洲多国拥有浩瀚海洋和漫长海岸线，因而有大量、稳定的潮汐资源。2021 年，全球约一半新增潮汐能装机都来自欧盟。但行业倡导机构欧洲海洋能源警告称，尽管过去 10 年，欧洲海洋可再生能源项目取得显著进展，但去年部署的波浪能和潮汐能项目数量已经降至 10 年来最低，这将威胁欧洲海洋能源部署目标的完成。

根据欧盟《海上可再生能源战略》，到 2025 年，欧盟计划实现 100 兆瓦海洋能源装机容量，到 2030 年实现 1 吉瓦海洋能源装机；但去年仅新增了 67 千瓦的波浪能和潮汐能装机，这是 2010 年以来最低年度安装量。

此外，业内还对潮汐能利用给海洋和河流带来的潜在负面影响表示担忧。美国能源信息署指出，潮汐能发电的一个缺点是影响潮汐水位的装置会增加海河浑浊度，进而对动植物产生影响。

英国柴郡野生动物信托基金会则表示，默西河潮汐能项目可能给这条关键河流带来严重环境破坏。对此，马丁·兰德表示：“大型项目必须进行环境影响评估，我们会制定详细指导方针，减少大型基础设施的负面影响，包括海平面上升、河流和河口影响等。”

值得一提的是，中国潮汐能行业正蒸蒸日上。去年上半年，全球单机容量最大潮汐能发电机组“奋进号”在浙江舟山成功并网，每年可发电 200 万千瓦时、减排二氧化碳近 2000

吨。

截至目前，中国潮汐能、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。有行业机构预计，中国东南沿海潮汐能资源丰富，潮汐能资源蕴藏量约为 1.1 亿千瓦，可开发总装机容量为 2179 万千瓦，年发电量可达 624 亿千瓦时，主要集中在福建、浙江、江苏等沿海地区。

### ■ ■ 商业化临界点即将到来

油价网指出，2030 年前，潮汐能将实现大幅扩张，全球波浪和潮汐能市场价值预计将从 2021 年的 5.8 亿美元增长到 2028 年的 44.1 亿美元，复合年均增长率为 33.2%。

据国际可再生能源署和欧洲海洋能协会预计，到 2050 年，全球海洋清洁能源装机总量有望达到 35 亿千瓦，并创造 68 万个直接就业岗位。

国际能源署指出，如果世界各国希望在 2050 年实现净零排放目标，潮汐能和波浪能技术必须以更快速度部署。鉴于全球海水资源丰富，潮汐能和波浪能至少可以满足 10% 的全球能源需求。

事实上，潮汐能已经处于商业化临界点。英国赫尔大学可再生能源教授西蒙·沃德曼表示，2018 年以来，潮汐能发电成本已经下降了 40%，10 多年后甚至可能低于核能发电。

“潮汐能提供了独特优势，虽然其输出会随时间而变化，但通过了解地球和月球轨道，这种变化可以提前几年预测。”西蒙·沃德曼称，“这意味着电网运营商将能够规划潮汐涡轮机的不同输出，并安排其他来源来填补缺口。”

## 新型泡沫：全天候淡水收集“小能手”

科技日报 2023.4.20

4 月 17 日，科技日报记者从华中科技大学获悉，中国工程院瞿金平院士团队研发了一种新型淡水收集泡沫材料，相关研究成果日前发表在学术期刊《Small》上。

“这种泡沫材料具备良好的超疏水性、耐酸性、耐热性和主动/被动除冰性，这些特性保证其在户外实际应用中长时间工作。”团队成员吴婷表示，他们提出的全天候淡水收集材料制备方法，为解决全球水资源短缺问题提供了一个良好的解决方案。

### 实现多种性能协同提升

淡水资源在所有生物的生命过程中发挥着不可或缺的作用，以高效经济的方式生产淡水，对人类社会可持续发展至关重要。受全球气候变暖等影响，淡水资源日益稀缺。

太阳能光热界面蒸发集水是通过光热转换收集太阳能,并将其转换为热能加热界面海水,从而产生高温蒸汽以生产淡水的方法,是目前解决全球淡水资源短缺最有前途和绿色可持续的解决方案之一。防雾集水是通过捕捉空气中的雾气以生产淡水的方法,作为一种绿色、低成本的水收集方法,也得到了广泛关注。

此前,该团队已在太阳能光热界面蒸发集水和防雾集水方面开展了许多相关工作。然而,作为解决目前淡水资源危机的有效途径,这两种方法存在各自的局限性。为此,该团队尝试将两种功能集成起来,开发一种全天候的淡水收集材料。

沙漠中的淡水资源十分匮乏,基于自身生存环境,沙漠甲虫身体表面由疏水凹槽和亲水凸包构成,形成了异质润湿状态,从而可以快速收集夜晚或清晨空气中的雾气。

受沙漠甲虫的启发,该团队采用工业化的微挤出压缩成型技术,制备了一种具有三维互连开孔结构的微/纳结构聚乙烯/碳纳米管(MN-PCG)泡沫材料。

“同时平衡几种本身存在矛盾关系的性能,是我们在制备过程中遇到的最大困难。”吴婷说,如想要界面蒸发性能好,就需连通蒸汽逃逸通道,即较高的泡沫开孔率,然而这样一来又会大幅度降低材料的力学性能。又比如要防雾集水性能好,需构建异质润湿微纳结构表面,但是这可能损失材料的界面蒸发性能。

最终,历时3年攻坚克难,团队通过大量的理论分析和实验探索,对材料配方和成型工艺进行调控和优化,实现了多种性能的平衡和协同提升。

### 集水新材料绿色环保

吴婷说,MN-PCG泡沫材料制备过程大体可分为两步,首先以聚乙烯为聚合物基体、无水硫酸钠为牺牲性模板、碳纳米管为光热填料,采用该团队自主研发的聚合物成型加工设备进行熔融共混加工,实现微米级无水硫酸钠和纳米级碳纳米管在聚乙烯基体中的均匀分散,得到复合材料熔体,复合材料熔体被挤到表面附有微纳结构模板的模具型腔中进行压缩成型,获得微纳结构复合材料。

第二步,利用水将微纳结构复合材料内部的牺牲性模板去除,从而获得具有三维互连开孔结构的泡沫材料;此外,利用外力将表面的微纳结构模板脱除,即在泡沫材料的表面形成微纳结构,从而实现MN-PCG泡沫材料的设计与制备。

该材料表面的三维微/纳结构为微小水滴提供了充足的成核点以从潮湿空气中收集水分,在夜间实现了每平方厘米每小时1451毫克的雾收集效率。聚乙烯基体中均匀分散的碳纳米管和氧化石墨烯@碳纳米管涂层,赋予了MN-PCG泡沫材料优异的光热性能。得益于优异的光热性能和互连的蒸汽逃逸通道,MN-PCG泡沫材料在1个太阳光照下获得了每平方米每小

时 2.42 千克的优异蒸发速率。

因此，通过集成太阳能光热界面蒸发集水和防雾集水，MN-PCG 泡沫材料可实现日均每平方米 35 千克的集水量。

“最为关键的是，制作该特殊材料的原材料都是绿色环保材料，且我们最终收集到的淡水，已达到世界卫生组织制定的饮用水标准，可以直接饮用。”吴婷表示，团队研发的集水新材料为后续水资源处理节约了过滤成本。

未来，这种新材料在沿海地区、中部地区及沙漠地区大有可为。虽然沿海地区不缺水，但该新材料可以将丰富的海水资源转化为淡水资源，让水资源得到更加充分的利用；沙漠地区则可以在夜间或者清晨，将空气中的雾气、露珠等集结，实现防雾集水；对于中部地区而言，可以将该材料悬浮在污水之上，实现污水净水处理。(吴纯新 高翔)

## 淡水系统首次发现“塑料岩石”

科技日报 2023.4.17

据 12 日英国《自然》网站报道，一个国际研究团队发现：塑料垃圾薄膜与岩石发生化学结合。这一发现使科学家越发认识到塑料已成为地球地质的一部分。相关论文发表于最新一期《环境科学与技术》杂志，首次揭示了环境中塑料与岩石之间的化学键。

清华大学土壤和地下水科学家侯德义介绍道，塑料来源于广西河池市一条小溪以及周围堆积的垃圾，包括用于制作塑料袋的聚丙烯薄膜，以及用于覆盖农作物的聚乙烯薄膜。

研究人员用光谱仪器观察“塑料岩石”时发现，聚乙烯薄膜表面的碳原子在氧原子的帮助下与岩石中的硅发生化学键结合。这种结合可能是由太阳紫外线驱动的，或者是由“塑料岩石”上微生物群落的新陈代谢活动驱动的。

研究小组还发现，聚丙烯薄膜似乎是通过物理作用力而不是化学键附着在岩石上。

除了影响地球的地质，“塑料岩石”令人担忧的地方还在于，它们可将微塑料排放到环境中。这些塑料碎片可通过大气和海洋进行长途运输，能穿透植物组织，可能会被鱼类和鸟类等动物误食。

为了观察“塑料岩石”上的薄膜会脱落多少微塑料，研究人员分离了部分薄膜，并将它们暴露于实验室的干湿循环中，以模拟小溪周期性涨水时可能发生的情况。结果显示，微塑料生成率比实验室模拟的垃圾填埋场、海水和海洋沉积物中塑料脱落的速率高出几个数量级。

巴西南里奥格兰德联邦大学地质学家格尔森·费尔南迪诺认为，尚不清楚塑料—岩石复

合体是否真的代表了塑料和岩石之间的一种新的相互作用。但他表示，这些复合体是第一个在淡水生态系统中形成的复合体。

一些地质学家认为，越来越多对“塑料岩石”的研究是自 20 世纪中叶以来人类已经深刻改变了地球地质的又一证据。这种转变应该被认为是一个新的地质时代——人类世。

## 向深海能源进军，推进重大技术装备攻关

——深海能源开发重大装备海南院士行活动研讨会侧记

科技日报 2023.4.28

世界首座半潜储卸油生产平台“深海一号”能源站、3000 米级水深作业能力的“奋进号”半潜式钻井平台……一众“响当当”的大国重器，为我国走向深海大洋、建设海洋强国奠定了坚实的装备和技术基础。“我国已经构建了具有中国特色的海洋石油工业体系，成功建立了深水油气装备体系、深水工程技术体系、深水工程配套技术体系。”4 月 26 日—27 日，在中国工程院、中国海油联合举办的深海能源开发重大装备海南院士行活动研讨会上，中国海洋石油集团首席科学家、中国工程院院士谢玉洪如此感慨。

### 从近海浅水向深海超深水跨越

我国海洋能源开发已历经 40 余年，自 2003 年以来，基本建成海洋 1500 米水深级油气田开发工程技术体系。随着荔湾 3-1、陵水 17-2、流花 16-2 等油气田开发项目顺利完成，我国深海油气年产量已达千万吨，最大作业水深达到 1560 米。

“近期我国首个深水高温高压气田‘深海一号’二期工程开始全面施工作业，中国海油深水全球化油气勘探开发正在从‘资源主导’向‘技术主导’转变。”谢玉洪说。

目前全球在开发深水油气田水深纪录为 2973 米，深水半潜式生产平台、TLP（张力腿平台）等深水浮式平台运行在全球各大海域，FLNG（浮式液化天然气生产储卸装置）、水下压缩机等新型深海开发利器相继投用，深远海油气开发范围不断拓展，深海技术和装备竞争的态势依旧严峻。

“我国深远海油气资源量虽然丰富，但目前探明程度还很低。”对于我国深海油气开发进一步发展方向，中国工程院院士、能源与矿业工程学部主任周守为认为，“未来应在适合深远海气田独立开发的 FLNG、适合深远海油田的超深水 FPSO（浮式生产储卸油装置）、深远海保障基地等的工程应用上作出更大努力。”

“可利用可拓展回接距离的水下压缩机等装备进一步拓展我们的开发范围，进一步提升

深远海开发装备产业链韧性，积极推动单点系泊系统、FLNG 液化系统等关键核心设备的国产化研制。”周守为说。

### 低碳转型背景下深化协同合作新篇章

新的发展阶段，如何破解能源需求刚性增长和绿色低碳转型之间的矛盾？

今年3月，国家能源局印发《加快油气勘探开发与新能源融合发展行动方案》，要求以油气产业为基础加强新能源新材料新业务开发利用，统筹推进海上油气勘探开发与海上风电建设，通过海上风电与油气田区域电力系统互补供电模式，积极有序开发漂浮式风电，为深远海油气平台输送绿色电力。

中国工程院院士陈勇表示，深水油气工程技术覆盖漂浮式风电70%以上的技术范畴，能够有力推动漂浮式风电技术的快速发展，为漂浮式风电提供新的融合发展应用场景，是漂浮式风电商业化的重要支撑。

今年4月初，我国第一个工作海域距离海岸线100公里以上、水深超过100米的深远海浮式风电平台“海油观澜号”已抵达海南文昌海域进行安装调试，投产后计划将服役25年，为周边的油气平台提供绿色电力。

“未来，我国海上能源开发进入多能协同开发新阶段，深海油气与深远海风电的融合开发将成为重要的发展方向。”陈勇说。

## 加强科技创新开发深海能源

### ——第六届深海能源大会主旨报告选登

中国自然资源报 2023.4.21

#### 编者按

3月30日~31日，由海南省人民政府、中国船舶工业行业协会、中国海洋工程咨询协会共同主办，海口市人民政府、海南省贸促会、中辰远见（北京）科技发展有限公司共同承办的第六届深海能源大会在海南海口召开。

本届大会以“加强科技创新，开发深海能源”为主题，设有主论坛和5个分论坛，议题包括海洋能源开发与海洋生态环境保护、海上新能源装备发展、深海装备数字化和智能装备、海上风电、青年论坛，等等。此外，由自然资源部摄影家协会、中国海洋工程咨询协会海洋文化分会共同主办，中辰远见（北京）科技发展有限公司承办的第二届“深海之光”国际摄影展也同步举行。此次国际摄影展共评出一、二、三等奖6名，优秀奖50幅，入选奖50幅，

共计 106 幅（组）作品。摄影作品展现了海上风景、海洋石油工业发展、航海生活等内容，折射出我国深海能源开发与利用的发展历程，赢得了参会嘉宾一致好评。

深海能源大会自 2015 年举办以来，会议规模和影响力逐年提升，展示了我国深海能源开发领域的技术创新，以及取得的一系列重大突破和最新技术成果。如深海空间站技术、水下机器人应用、深海浮式液化天然气装置、深水气田水下采油树安装技术、海洋天然气水合物的钻探与测试技术、载人深潜技术等前沿科技、关键技术和重大装备，传递出深海能源发展的强劲脉动。深海能源大会吸引了政府部门、学术界和企业界的积极参与，涵盖海洋油气、工程技术、天然气水合物、海洋矿产资源、海洋可再生能源等领域，是深海能源领域开展学术交流、探讨行业发展、提高我国在该领域国际影响力的重要平台，为促进海洋能源科技创新、人才交流、成果转化发挥了积极作用。

在 30 日召开的主论坛上，中国科学院院士汪品先、中国工程院院士林忠钦等专家学者围绕南海深部十年探索、深海重大装备工程发展与挑战等作了主旨报告。今天，我们特选登两位院士的报告内容，以飨读者。

### **中国科学院院士汪品先主旨报告——南海深部十年探索之路**

中国科学院院士汪品先以“南海深部十年探索”为主题，回顾了近 10 年来我国在南海研究领域积极探索的历程，详细介绍了中国科学家如何凭借“三深”（深潜、深钻、深网）技术，取得众多突破性的科学发现，使南海从世界边缘海的研究中脱颖而出。

汪品先介绍，近 10 年来南海成为世界深海研究的热点，最为突出的是在国家自然科学基金委员会支持的“南海深海过程演变（2011—2018 年）”重大研究计划中，我国科学家取得了突破性进展。这些科学成就的取得，很大程度依靠引入“三深”技术探索深海。但目前，我国深海探索的重心仍局限于南海北部，有待发起新的大型计划探索南部海盆，进而使南海成为全球海洋科学的天然实验室。

2013 年~2019 年间，“南海深部计划”先后运用“蛟龙”号、“深海勇士”号载人深潜器和无人的“ROPOS”遥控深潜器，在深海盆海山首次发现了大面积、高丰度的铁锰结核富集区和古热液金属硫化物矿，并且反复探测了可燃冰甲烷溢出口的冷泉生物群，极大丰富了人们对南海深海生物和矿物资源的了解。

深潜固然重要，但即便是无人深潜器也无法长驻海底。“深网”技术标志着海洋科学发展到深入海洋内部的新阶段。海底观测网的优点在于可以进行长期连续的实时原位观测，无论是连续测量深部洋流的流速、流量，还是监测台风来袭或者火山爆发时的海洋反应，将传感器放在海洋内部都是最好的选择。由于观测目标和海洋条件不同，观测装置极其多样，有

联网的也有不联网的，有固定的也有活动的，从海底爬行车到水下滑翔机，类型繁多，不一而足。

我国的“深网”项目作为国家大科学工程已经立项，计划在东海和南海建设海底观测系统。海底观测网建设是一个长期工程，在此之前，“南海深部计划”已经开展了大量非联网的深海长期观测，包括水文观测的潜标观测和深海沉积作用长期观测系统，既为南海深部过程采集科学数据，也为国家大科学工程建成后的应用进行准备。

“三深”中影响最远和规模最大的是“深钻”。从深海海底钻探地壳，是难度最高、耗费最大的深海技术。自从1968年美国启动大洋钻探后不久，大洋钻探就发展为国际计划，由若干发达国家共同提供资金，将各国的科技精华集中到同一条钻探船上，向地球深部进军。在深海科技中，这是唯一全球抱团执行的研究计划，先后经历了深海钻探计划（DSDP，1968—1983）、大洋钻探计划（ODP，1985—2003）、综合大洋钻探计划（IODP，2003—2013）和国际大洋发现计划（IODP，2013—2023）4大阶段，在世界各大洋深水底下钻井4000余口，取心40多万米，其成果从根本上改变了人类对地球的认识，扭转了地球科学发展的轨迹。从组织的角度看，大洋钻探计划也是国际科学史上的奇迹，一项由各国政府出资的基础研究国际计划历经50年而不衰，成为时间最久、效果最好的大型国际科学合作项目之一。

国际大洋钻探的成员国原来只有发达国家，是个“富国俱乐部”，后来才有所变化。中国在1998年加入国际大洋钻探计划，是个“新兵”，但是20多年来在中国科学家的建议和主持下，实现了南海4个半钻探航次，在17个站位取回近万米的岩心，为认识南海深部作出了不可估量的贡献。南海大洋钻探的成果来之不易，这是一个全球计划，只有通过国际投票认为是世界学术前沿的题目，才会开展钻探。

“南海深部计划”瞄准“大陆岩石圈如何破裂成为海洋”的前沿问题，多次组织国内和国际研讨，反复提升钻探建议书的学术水平，终于在5年里实现了3个半钻探航次：2014年的349航次钻探大洋地壳，2017年和2018年的367、368和368X航次钻探洋陆过渡带，其中10个站位水深超过3000米，6个站位钻进了岩浆岩基底。大陆如何张裂变成海盆是地球科学顶级的大题目，半世纪以来大洋钻探曾经用了22个航次在大西洋进行钻探，建立起大陆变海洋的大西洋模式。依照国际的主流观点，南海就是按照大西洋模式张裂的，南海大洋钻探的科学目标就是检验大西洋模式的普适性。

然而钻探的结果是否定的：南海不是小大西洋。两个海盆有其相似之处，但是形成时的大陆岩石圈大不相同，因此破裂的过程、机制也不相同，大西洋是大陆板块内部破裂，南海

是板块边缘破裂。据此，我们科研团队指出“南海不是小大西洋”，提出的南海成因“板缘张裂”新假说，有别于大西洋的“板内张裂”。创立于欧洲的地球科学往往带有“欧洲中心论”的偏见，将在欧洲或者大西洋发现的规律加诸全球。同样的现象发生在气候演变机制研究上，人们习惯于将全球气候演变的驱动力归结于北半球高纬区，认为北极冰盖和北大西洋深层水的变化带动了全球。同样是基于南海大洋钻探的研究结果，我国学术界提出了气候演变“低纬驱动”的假说，认为热带、亚热带太阳辐射量的变化驱动着全球气候的长周期变化。

依靠我国科学界的努力，借助于“三深”的技术力量，“南海深部计划”超越了原定目标，在南海实现了深海研究的突破性进展。这 10 年的研究工作，偏重在北纬 12 度以北的海域，接下来亟待乘胜追击，向南海南部拓展，从而掌握整个南海深部过程及其演变。研究越深入，发现新的科学问题也越多。南海 10 年提出的科学假说，已经跳出区域范围，挑战地球科学的一些基本问题。获取到的深海认识，也已经使南海在世界边缘海研究中赢得领先地位，有望成为世界深海研究的天然实验室。

当前世界上深海研究程度最高的边缘海包括墨西哥湾、日本海和南海。三者相比，南海不仅面积最大、海水最深，而且深部过程的研究尤其是大洋钻探的研究程度也最高。在这三大边缘海中，只有南海在深海盆的底部钻探了大洋地壳和洋陆过渡带，是唯一从裂谷到扩张过程系统获取了地质证据的海盆。而墨西哥湾、日本海开展的钻探主要在 20 世纪 70~80 年代，属于大洋钻探计划的初期，南海的钻探主要在 21 世纪，无论钻探能力和岩心质量都更胜一筹。加之墨西哥湾沉积层厚逾万米、日本海深海沉积信息量较少等天然条件影响，相信通过人为努力，南海将成为世界边缘海深海研究的标兵。

### **中国工程院院士林忠钦主旨报告——深海装备的发展历程与挑战**

浩瀚的大洋底部蕴藏着丰富的矿产资源，已探明具有开发前景的深海矿产资源包括多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物等，其中锰、镍、钴等金属的储量远高于陆地储量。如果能够安全、高效地商业开采，并且控制好作业过程对海洋生态环境的影响，丰富的海洋矿产将成为陆上矿产资源的替代资源，满足未来一段时期内人类社会的经济发展需求。

中国工程院院士林忠钦以“深海重大工程装备发展与挑战”为主题，系统分析了国内外深海开发技术装备的发展现状，并深度剖析了我国技术装备发展存在的不足，指明了未来深海装备的发展趋势与方向。

深海矿产资源开发研究始于 20 世纪 50 年代末，美国、日本及欧洲等国家和地区主要针对深海多金属结核，研究各自的勘探与商业开采方案，同时兼顾富钴结壳、多金属硫化物的开采技术研究；20 世纪 80~90 年代，韩国、印度、中国也相继加入深海矿产资源开发队伍，

探索系统方案 and 商业化开采方案。近年来，世界各国纷纷开展单体和综合海试，深海矿产资源开发技术装备取得显著进展。

我国在 20 世纪 80 年代末启动了深海矿产资源开发技术装备研究，聚焦管道提升式深海矿产资源开发系统，开展技术攻关和装备研发，初步形成深海多金属结核开采系统的设计和装备研发能力，同时兼顾富钴结壳、多金属硫化物开采技术装备的研发。

林忠钦介绍，深海作业装备是开发深海资源不可缺少的核心工具，研制深海探测与作业装备是当前深海科技发展的前沿。他从深海试验平台和深海作业装备两个方面介绍了深远海驻留研究设施的建设背景、主要功能、总体系统构成和实验室系统等，突出“长期驻留，快速移动”的海洋大型科研设施概念，并重点提及了将在海南三亚崖州湾深海科技城建立相应补给基地。

林忠钦介绍，深远海驻留研究设施项目已立项。该设施能够实现恶劣环境可驻留、海上快速移动，保证海上长期、实时、连续试验，为海洋科学与工程提供极限研究手段。该平台设计排水量超过 7 万吨、自持力 120 天、12 级台风作业、17 级台风生存、定员 300 人。船载实验室系统实现多学科、多门类交叉集成，拥有海洋装备类、海洋科学类、公共平台类、模块化实验室，实验室总面积达到 3000 平方米。其中，海洋重载作业装备实验室可开展深海采矿等联合测试，支撑先进深海技术开发与装备研发。海洋科学类实验室可长期驻留海上，进行原位、互动式海洋观测，特别是极端海况下的观测。公共平台类实验室包含水下科考和作业装备操控中心，分析测试与数据处理中心等。模块化实验室包括清洁能源实验室和任务搭载实验室。

海上试验场是海洋装备与科技发展的重要平台。南海是开展深海研发和试验的最佳天然场所，可在高温、高湿、高盐环境下进行相关测试。海南三亚崖州湾近海试验场具备海洋装备调试与功能试验、可再生资源装备测试、水面智能装备试验、水下潜器作业试验、海洋材料腐蚀试验、海洋科技传感器测试、水声测试等试验条件。

在装备体系方面，林忠钦介绍了上海交通大学 3000 米~11000 米的深水作业无人有缆潜水器技术和装备体系。其中，“海龙二号”在太平洋创造了我国自主发现并精细观测深海黑烟囱的纪录。“海马号”在南海首次发现活动冷泉，并命名为海马冷泉，为我国发掘可燃冰迈出重要一步。

深海采矿车（即海底重载作业装备）是深海矿产资源开发的核心装备，也是深海矿石开采的“最前线”。根据基本功能要求，海底重载作业装备应具备环境感知系统、控制系统、执行系统。环境感知系统是采矿车的“眼睛”，对采矿车周围环境、矿石分布形式进行初步

判断；控制系统是作业装备的“大脑”，控制采矿车的行走、转向、爬坡等动作，同时控制矿石的采集作业；执行系统用于实施采矿动作，包括行进装置和采集装置。

环境感知系统的主要任务是克服海底高噪声、高扬尘、多颗粒散射的困难，实现海底工作区域环境的实时感知和测量，为采矿车行进、矿石开采提供基础条件。从感知内容来看，海底环境感知包括海底地形、矿石分布；从测试尺度来看，环境感知包括整体环境粗略测量、局部精确测量；从实现手段来看，环境感知可以通过光学、声学成像技术实现。

控制系统根据感知结果，实时控制作业装备的行走和采集，并保持与输送装备、水面支持装备的实时通信和联合动作。控制系统需要实现海底装备的实时控制的基本功能，还需要开展智能化研究，包括自动路径规划、自动越障避障、智能化控制算法等。

上海交通大学在 2021 年 8 月完成“开拓一号”深海重载作业采矿车 1305 米深海试验，积累了宝贵的深海经验。“开拓一号”主要实现海底行进智能控制，进行深海环境声/光学综合感知，完成基于机器学习的光学图像恢复与增强。在此基础上，上海交通大学正在研制“开拓二号”深海重载作业采矿车，目的是实现多金属硫化物精细破碎开采，适应复杂海底地形自适应行进，完成超深水重载装备布放回收，计划于明年开展深海海试。此外，上海交通大学参加了科技部研究计划，启动“曼塔号”研究，将开展原创性的浮游行进式集矿技术试验。

### 最大时速 240 公里 8 级风力下可安全作业

## 更快更安全，第三代“海上飞船”来了

科技日报 2023.4.26

4 月 22 日，科技日报记者从中国船舶科学研究中心某试验基地了解到，我国地效翼船再获重大突破。由该中心采用新型材料研制的第三代高耐波性地效翼船，经过 30 多次海试表明，其多项技术性能处国际领先水平，今后将为加快开发利用海洋提供重要海上高速运载与作业平台。

中国船舶科学研究中心地效翼船总设计师石亚军研究员介绍，地效翼船又称“海上飞船”，是一种兼具海上航行和腾空掠波飞行功能的新型水上交通工具。它利用地面效应实现减阻、增升，航速为常规船舶的数倍至十余倍，是目前世界上最快的船型。它在水面机动、驻泊，具有独特的性能优势，能快速执行各类海上紧急任务。

### 地效翼船经历三个发展阶段

我国的地效翼船研发在国际上起步早，已有近 60 年的发展历史，取得了长足的进展。迄今，我国地效翼船的研发经历了三个重要发展阶段：第一阶段是地效翼船技术探索及初步攻关的阶段，这阶段更多地着力于“飞”这一技术能力的实现；第二阶段在掌握了地效翼船核心设计技术后，逐步向规范化、实用化发展；第三阶段旨在针对我国实际海情，研发适用性更强的地效翼船。

据了解，1965 年，中国船舶科学研究中心在国内率先开展地效翼船研究，1968 年，该中心成功试飞了我国第一艘地效翼船“961”。其后，经过多年的持续攻关，研发团队解决了地效翼船纵向稳定性难题，形成了实用的地效翼船稳定性设计方法，地效翼船核心技术体系逐渐完备。

2013 年，该中心成功研发出我国首型商用地效翼船——“翔州 1”型地效翼船，满足了海上短程需求。这也是国内第一艘经过中国船级社完整认证并签发入级证书和安全符合证明的海上地效翼船。该船的研制和应用实践推动了国际国内标准体系的构建。

在石亚军看来，我国第一代地效翼船仅仅强调了“飞”这一基本属性，第二代地效翼船则强调了经济性和双工况需求，而目前第三代地效翼船有效解决了第一代、第二代地效翼船不能适应我国恶劣海况的问题。

“第三代高耐波性地效翼船，是我国地效翼船研制的一个重大技术突破，是我国自主研发地效翼船能力的具体体现，更是我国结合实际应用需求走出的一条创新之路。该技术目前处于国际领先地位。”该试验基地地效翼船试飞员王晓东说。

### **第三代适用性与安全性更高**

石亚军介绍，在“翔州 1”型地效翼船的长期试验和试用过程中，该中心科研团队深刻认识到耐波性是制约地效翼船实用性提升的关键指标。同时，我国所处的西北太平洋地区，常年风浪较大，多数应用场景对耐波性有较高要求，地效翼船耐波性不足必将大大影响实用性。

一般而言，地效翼船耐波性会随着吨位变大而提升，但这与我国工业基础和过于恶劣的实际海情并不匹配。研发团队认为提升中小型地效翼船的耐波性水平更加符合我国的实际国情，但这条路线并没有现成的技术参照，只能依靠自主研发。

十多年来，该中心科研团队从拓展地效翼船的安全使用限界着手，研究制约地效翼船实用性的影响因素和解决方案，结合带增升装置的高置上单翼和分层滑行面小刚度船身复合应用，以牺牲部分地效的代价，实现了耐波性水平的跃升，最终形成了高耐波性第三代地效翼船概念。应用该技术后的中小型地效翼船可比同吨位地效翼船的耐波性提升一个浪级以上。

值得关注的是，在第三代高耐波性地效翼船的研制中，团队提出了新的降载概念，应用了最新的技术成果，在水动布局、气动布局设计方面作了大量创新性的设计。团队通过机翼高置的方式降低波浪对部件的影响，同时应用高效机翼增升装置降低起降速度减小波浪载荷，分层滑行面以及更瘦削船体的应用，兼顾了滑行效率和砰击载荷。

该中心科研团队不断打磨地效翼船实用化设计技术，对地效翼船气动力技术、耐波性技术、实用化技术进行深度挖掘，并在结构外载荷优化、先进复合材料应用等方面，取得一系列突破。

近期完成海试的第三代高耐波性地效翼船采用全碳纤维结构，可载人员 12 人，满载起飞重量达 4.5 吨，最大时速达 240 公里，有效航时达 6 小时，在 4 级海况、8 级风力下可安全作业。与前两代相比，其适用性更强、安全性更高、航速更快。此外，其在执行海上救生、补给任务时，第三代高耐波性地效翼船可以发挥速度优势及时赶赴海难区域，并可将救起的伤员及时、快速地运送到基地或就近的陆上、海上医院。

第三代高耐波性地效翼船上装载的先进装备，在发现水上疑似目标后，能长时间保持超低空紧贴水面飞行并进行精确搜索和精准确认；确认目标后，可就近降落，快速排水航行驶近目标实施救援；在不适合降落的情况下，也可采用掠海低飞的方式向水面目标精确空投浮筏、浮网等救生器材和应急物资，给遇险人员及时的支援；还能短时间飞越岛屿或海岸，完成对岛屿和岸滩上目标的搜索或空投物资。

“相比于现有同吨位水上飞机和地效翼船，第三代高耐波性地效翼船适航性提高了 1 至 2 个等级，使得波浪中地效翼船的全年出航率和水上安全性得到了有效保证，解决了广阔海域难以快速精准抵达的难题。”石亚军表示。

### **未来可满足更大应用需求**

在相关专家看来，随着我国海洋战略的快速推进，地效翼船作为有着独特优势的海上交通工具，未来将在开发利用海洋、维护海洋权益、发展海洋经济等方面，发挥越来越重要的作用。

石亚军介绍，地效翼船除了速度快、造价便宜之外，还有着其他船只、飞机所不具备的优势。相对于飞机，地效翼船速度较慢，滑翔性能好，易于操纵。飞行中如发生突发事件，因其在水面上的机动性，可随时降落，由飞行逐渐过渡到水面状态。

但囿于技术标准的滞后、高素质驾驶技能人才缺乏等因素，地效翼船的商业化应用才刚刚起步。为了推动地效翼船的商业应用，近年来，行业主管部门、以中国船舶科学研究中心为代表的工业部门和江苏航运职业技术学院等培训机构通力合作，从服务国家战略需求出发，

自主创新突破关键技术难题、构建了完备的小型地效翼船研制及应用技术体系，同时积极参与国际组织的活动，牵头修订了国际海事组织《地效翼船指南》。

在《地效翼船指南》的修订中，为确保我国牵头开展的此项工作顺利完成并取得预期目标，我国参会代表团先后与俄罗斯、法国、韩国等多个 IMO 成员国进行了深入沟通，做了大量工作，解决了多项难题，让《地效翼船指南》的修订更符合我国相关产业发展需求。

2021 年 7 月 1 日，国内首部地效翼船强制法规——《地效翼船技术与检验暂行规则》由交通运输部批准正式施行。该规则包含了总则、检验与发证、小型地效翼船、大型地效翼船和 10 个附件。

《地效翼船技术与检验暂行规则》在制订中结合我国多年的地效翼船设计、建造和使用经验进行了优化，填补了我国地效翼船技术法规的空白，对保障地效翼船安全性，规范和促进行业有序发展奠定了坚实的基础，对于推动地效翼船产业化起到了十分重要保障作用。

目前，我国地效翼船在理论和试验方法、设计和建造技术、结构材料、施工工艺等方面都较为成熟，部分技术和应用处国际领先地位，并正在探索具有中国特色的商业应用的模式。

石亚军坚信，这种兼具常规船舶和飞机性能的水上交通工具，未来在海上高速运载、旅游观光、海上救生、执法巡逻等方面具有广阔的应用前景。(过国忠柳鑫)

## 七、氢能

### 我国首次实现固态氢能并网发电

中国电力报 2023.3.30

3 月 25 日，国家重点研发计划中的固态储氢开发项目率先在广东广州和云南昆明实现并网发电。这是我国首次利用光伏发电制成固态氢能并成功应用于电力系统，对于推进可再生能源大规模制氢、加快建成新型电力系统具有里程碑意义。

“固态储氢解决了‘绿电’与‘绿氢’灵活转换的难题，这一重大变革性技术，未来有望成为支撑电力系统向高级形态演化的重要驱动力量。”中国工程院院士王成山说。

据了解，此前的储氢方式只有气态和液态两种方式，气态储氢存在气压高、易燃易爆的风险，液态储氢要求温度低于零下 250 摄氏度、成本极高。

由中国南方电网有限责任公司牵头组织实施的固态储氢开发项目，成功解决了在常温条件下以固态形式存储氢气的技术“瓶颈”。它的原理是通过氢气与新型合金材料发生化学反应，从而“吸引”氢原子进入金属空隙中，实现存储的目的。此时，如果将合金的环境温度

升高，其间的氢气就会被释放出来，通过燃料电池转化为电能，从而并入到电网。而通过类似的“加气站”装置，则可直接为新能源汽车加氢。

“固态储氢装置就像一个大容量充电宝，可以把光伏、风电等不稳定的可再生能源高密度存储起来，既解决了风光发电波动性强、利用难的问题，也将改变过度依赖煤炭、石油等化石能源制氢的现状。”南方电网广东广州供电局氢能源研究中心总经理雷金勇介绍。

“储能作为新能源消纳的重要手段，是构建新型电力系统的核心技术。”南方电网云南电力科学研究所副院长钱国超介绍，为促进云南丰富的风、光新能源消纳，南方电网云南电网公司于2019年立项，开展云南省重大科技专项氢储能促进可再生能源消纳利用，及装备技术研究示范项目。历时4年，攻克了制氢、储氢、运氢和用氢环节的多项关键技术，建成了国内首个集液态、固态储氢于一体的制、储、用氢能综合示范基地，为云南新型电力系统的建设和氢能产业的发展提供了良好的示范样本。

据中国工程院最新预测，在碳中和情景下，2060年我国氢气需求量将超过1.3亿吨，氢能占终端能源消费比重将达到20%，其中“绿氢”占比将超过80%。

据钱国超介绍，他们下一步将围绕国家新型能源体系建设，积极推进示范工程研究成果的应用和转化，为云南清洁能源开发利用做好技术支撑，保障电网安全稳定运行。

## 澳大利亚：新技术大幅降低制氢成本

中国高新技术产业导报 2023.4.3

澳大利亚伍伦贡大学孵化的初创公司 Hysata 宣布成功研发出超高效电解槽技术，该技术可使转换效率从75%提升至95%，有望使大规模制氢成本低于澳政府设定的每千克氢气2澳元的目标，研究成果发表在《自然通讯》上。

Hysata 研发的“毛细作用供给电解电池”技术受非对称电解质膜技术启发，将电解液储存在电解池底部而不与电极接触，由一个多孔、亲水的电极间分离器利用毛细作用不断吸附少量电解液，供给与电极接触，产生氢气和氧气，解决了浸没在电解液中的电极因气泡附着而导致转换效率下降的技术难点。经研究人员测算，使用该技术制氢耗电40.4千瓦时/千克，低于现有商业化电解制氢47.5千瓦时/千克的能耗，超过国际可再生能源机构（IRENA）设立的2050年目标，即42千瓦时/千克。

Hysata 的这项技术使电解槽的配套辅助系统更为简洁，无需液体循环，不使用气液分离罐和相应的管道配件，仅采用空气冷却或热辐射制冷，其设计也更有利于制造和安装，进一

步降低生产和运营成本。当前，公司正加快该技术的商业化，并计划今年内建造电解槽试点制造工厂，预计 2025 年前可进一步将制氢成本压低至每千克 1.5 美元，提前完成澳和全球设定的成本目标并实现吉瓦规模的制氢能力。

## 我自研兆瓦级 PEM 制氢装备性能进阶

科技日报 2023.4.17

贵金属负载量降低三分之二、电流密度提升一倍以上、单位面积材料下实现更大产氢量……4 月 15 日，由我国嘉庚创新实验室自主研发的高性能兆瓦级 PEM 制氢装备发布，该设备以低贵金属载量实现了最高性能指标，大幅降低制氢成本，使 PEM 制氢技术向产业化方向更进一步。

本次发布的高性能兆瓦级 PEM 制氢装备，核心材料国产化率超过 90%，以纯水为反应物，具有体积小、响应速度快、工作范围宽、低成本等特点，获得专家评委会“整体水平处于国内领先，部分关键性指标已达国际先进水平”的评价。

PEM 电解水（质子交换膜电解水）是目前三种主流电解水制氢技术之一，即通过质子交换膜将水分解成氢和氧，利用化学反应和电化学反应实现氢的产生。相较于传统碱性水电解技术，PEM 制氢装备具有体积小、响应速度快、清洁环保的优势，但因其依赖价格比白金还贵的贵金属铱作催化剂，成本问题一直困扰该技术路线的发展。

嘉庚创新实验室 PEM 制氢项目负责人陶华冰博士介绍，研究团队在材料领域实现突破，成功开发可批量制备、高工况活性的核壳结构催化剂，大幅降低设备对稀缺贵金属材料铱铂的载量，使 PEM 制氢成本大大降低；此外，通过优化设计和改进工艺，新设备在降低成本同时，工作效能和使用寿命大幅提升，能够适应更宽的工作范围和更快的动态响应需求。

“高性能、兆瓦级优势使我们的设备成功迈入能源产业领域门槛。”陶华冰介绍，目前该设备已在窑炉、离网制氢系统等多种场景开展应用测试，在此基础上开发的兆瓦级 PEM 制氢系统产品也在筹备开展应用测试。

## 多元化储运方式为氢能产业助跑

中国能源报 2023.4.10

“我国是产氢大国，拥有丰富的工业副产氢。此前，氢气作为工业燃料和还原剂在化工厂内部可实现即制即用，但随着氢能在交通领域的加速应用，需要把氢从制氢厂运到加氢站，

储运环节成为氢能商业化应用亟待突破的瓶颈。同时，随着氢能在交通、工业、电力等领域的广泛应用，探索多种储运路径也成为行业重要发展方向。”中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院氢能研究所副所长李庆勋在日前召开的 2023 氢能供应链峰会上表示。

“双碳”目标下，我国氢能产业正迎来史无前例的发展机遇。多位与会专家指出，当前我国氢能储运成本高企问题持续，运营模式待突破，实现产业高质量发展离不开对安全、高效、多元的氢储运体系的持续探索。

### ■ ■ 高效储运减少中间成本

一直以来，我国氢气来源都与煤炭工业紧密相连，主要集中在北方内陆地区，而东部沿海地区氢能产业发展超前，氢能需求量巨大。因此，我国氢能产业发展存在严重的供需错配问题，亟待突破储运技术制约，减少氢能应用中间成本，实现大规模产业化发展。

据了解，当前我国仍以 20MPa 氢气运输为主，30MPa 刚开始得到应用，而国外运氢基本采用 50MPa IV 型储氢瓶，整体而言，我国储运氢技术与国外相比还存在一定差距。

对于高压气氢而言，高压力、大容积、低成本的气态储运装备研发尤为关键。中国特种设备检测研究院气瓶检测与试验技术研究室主任李翔表示，储氢装备压力提高可以带来充装量和储氢密度的整体提升，极大提高氢储运效率。同时，设计储运和充装功能为一体的高压储运容器，为加氢站提供服务也是重要方向。“虽然高压储运容器制造成本较高，但由于它减少了加氢站中压缩机和存储容器的成本，同时省去了氢储运这一中间环节，因此可大大降低整体成本。”

除持续提升高压气氢装备技术外，业内对液氢储运规模化与应用场景的展望从未停止。“液氢有望解决氢储运规模化难题。”航天氢能科技有限公司副总经理兼总工程师安刚介绍，相比于气态储氢，液氢最大优势是密度大，是 20MPa 氢气的 5 倍、35MPa 氢气的 3 倍、70MPa 氢气的 1.8 倍。“一辆运输液氢的车，其运量可以顶 10 辆 20MPa 高压氢气运输车，因此非常适合氢的大规模储运。”

“氢液化过程中虽然能耗较大，但液氢技术路线下，液氢工厂可以建在风光发电厂附近电价较为便宜的地区，建成以液氢为储运介质的新能源电氢体系，结合风光电的低碳、低成本和液氢稳定、便于规模储运、分散使用等优点，规避风光周期性、液氢能耗高的缺点，实现新能源优势互补。”安刚表示，基于此，液氢在后续的储存、运输和终端配送使用环节所节省的费用，将远远大于液化环节的能耗成本。

### ■ ■ 天然气掺氢或为过渡良方

北京市煤气热力工程设计院有限公司道石研究院总工程师王洪建指出，到 2060 年，氢

能的终端消费占比将从目前的不到 1%提升至 20%甚至更多，实现如此巨大的增量空间，突破储运瓶颈势在必行。“现阶段，氢能的储运主要依靠长管拖车进行气态储运，中期可通过液氢拉长氢的运输距离。而长远来看，未来要真正实现大规模应用，一定是通过管道输送，实现跨区域、更长距离的应用示范。”

据国联证券测算，当氢气输送距离为 100 公里时，运输成本约为 1.43 元/公斤。同等运输距离下，管道输氢成本远低于高压长管拖车及低温液态输氢。因此，当氢气下游需求足够支撑大规模的氢能输送时，通过管道运输氢气是一种降低成本的可靠方法。

“不过，当前我国加氢站尚未大范围普及，站点较为分散，纯氢管道运输经济性有限，利用现有天然气管网进行天然气掺氢运输具备明显成本优势，将成为解决氢气规模化输送的有效途径。”王洪建指出，按照我国天然气消费量计算，当天然气掺氢比例为 10%时，可具备 300 多万吨/年的氢气消纳能力，并消纳 1700 多亿度绿电，有助于进一步提高可再生能源在能源生产结构中的渗透率。

与此同时，我国也有具备发展天然气管道掺氢输送技术的产业基础。以掺氢比例 10%—20%计算，等热值碳减排量在 3.5%—7.6%之间；充分利用已有燃气管网基础设施，大规模、长距离输氢成本每百公里为 0.3—0.8 元/千克，大幅低于长管拖车和液氢罐车。

值得注意的是，天然气掺氢因发展前景广阔，已在多地受到高度重视。王洪建举例称，例如，山东开展了“氢进万家”科技示范工程，同时出台扶持政策，对天然气管道掺氢、纯氢管道项目，按设备投资额的 30%进行补贴。再如，近两年，天然气掺氢示范应用开始连续出现在国家重点研发计划项目中。

### ■■打造稳定供应体系

《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》提出，要稳步构建储运体系，支持开展多种储运方式的探索和实践，逐步构建高密度、轻量化、低成本、多元化的氢能储运体系。政策已指明方向，但记者了解到，在实际探索过程中，氢气的储存和运输仍面临供应不稳定、标准缺失等不少困难和挑战。

北京兴创海珀尔运输有限公司总经理李铁军直言，以北京为例，北京的氢气供应商停产检修要 20 天左右，如果在这期间合作的另一家氢气供应商设备突然出现问题，就会造成氢气供应不足。此外，受制于安全风险管理规定，加氢站不能同时停放危化品运输车辆，必须按时段一车一车地卸载氢气，如有某一环节做不到有效衔接，就会造成断氢或车辆积压。

“在运输过程中，温度和压力的变化都会引起加氢站卸氢量和制氢厂提氢量之间的差异，需要双方反复协商、沟通，如果遇到双方采用的计算方式或标准不一，则更让人头疼。”李

铁军说。

对此，定州旭阳氢能有限公司总经理李延闽提出，希望业内相关团体、协会能牵头讨论，将安全、场地、环境等各种因素考虑在内制定一个大家都认可的标准进行统一计量，让大家有标准可依。“另外，上下游的合作供氢稳定性，也是保证氢源供给的重要因素。稳定的合作与规划，将有利于产业上下游衔接流畅，从而保障氢气的稳定供应。”

中物联危化品物流分会氢能储运与应用工作组负责人杨春光指出，如果仅局限于氢气运输这一个环节，解决成本高、运营难等问题将挑战重重，但未来如果形成稳定、安全、多元的氢储运体系，实现高压氢气、液氢和氢气管道等运输方式的衔接，保证氢气在供应链中的可靠供应，将进一步改善当前氢储运成本高企、输送距离受限的困境，利好氢能产业规模化发展。

## 国内首创最大单体电解水制氢设备发布

中国科学报 2023.4.19

近日，国内首创最大单体电解水制氢设备——3.2MPa、1500~2000Nm<sup>3</sup>/h 碱性电解水制氢系统在江苏无锡发布。该系统由大连理工大学教授梁长海团队研发设计，联合无锡华光环保能源集团股份有限公司（以下简称无锡华光）实现产业化，填补了国内千方级高压力电解槽空白。

该项目由大连理工大学-无锡华光零碳工程技术研究中心合作开展。在中试试验的基础上，大连理工大学成都研究院利用业内首个自主开发的智能数字化设计系统，形成了2000Nm<sup>3</sup>及以下的全系列碱性电解水制氢系统技术。电解槽采用压力容器标准设计，轻便精巧，极大缩短了制造周期，节约用户成本。

整套制氢系统具备动态调节能力，适用于储能、动力、冶炼、化工、交通、玻璃、食品、医药、电子等多个领域。

## 新型能源体系建设期待绿氢应用展新局

中国电力报 2023.4.12

### 氢电融合促进多能互补

党的二十大报告提出，积极稳妥推进碳达峰碳中和，加快规划建设新型能源体系。

新型能源体系要突出四个融合。一是化石能源与新能源融合。坚持先立后破的原则，循

序渐进推动化石能源减量替代和减污降碳。发挥煤电对新能源电力的支撑性和调节性作用。二是一次能源与二次能源融合。通过“氢—电”耦合等方式，构建煤油气、电热氢等灵活转化、多元互补的现代能源供应体系。三是集中式和分布式融合。将大基地电力集中外送和就地消纳结合起来，最大化利用新能源。四是源网荷储融合。在大基地外送通道有限的情况下，以配电网为主战场深化电力体制改革，发展源网荷储一体化的配电网，实现虚拟电厂、智慧能源、综合能源、分布式电源等多元融合发展，促进新能源就地消纳。

新型能源体系应具备五个特征。一是能源结构以绿色低碳能源为主。二是终端能源消费以电为主、氢电融合。三是运行安全灵活可靠，运用数字化、智能化电网技术，夯实集中式输电网络安全基础，大力发展智慧化分布式能源，提高电力系统灵活性和可靠性。四是科技创新引领发展。五是市场体系完备有效，深入推进电力市场、绿电市场、绿证市场、碳排放权交易市场协同联动，保障煤电角色转换后有合理收益，最大化兑现新能源绿色价值。

氢能新型能源体系建设中可以发挥独特作用。利用大基地绿电制绿氢，可以在新型能源体系中发挥多重作用：一是作为清洁优质的二次能源，在交通领域减少汽、柴油消费；二是作为高品质热源，在工业领域减少煤炭、天然气等的消费；三是作为大规模、长周期、跨季节储能方式，可以提高电力系统灵活调节能力，促进大基地新能源电力集中外送；四是作为清洁化工原料和还原剂，以“风光氢储”一体化、“绿电—绿氢—绿氨（绿色甲醇）”一体化等方式，与工农业耦合，既能促进大基地周边化工等相关产业绿色低碳转型，又能带动大基地周边经济发展，还能为新能源就地消纳提供解决方案。

### 氢能绿色发展面临痛点

痛点一：制氢——灰氢如何变绿。全球氢气制造仍以化石能源制氢为主。国际能源署数据显示，2021年全球氢气产量达到9400万吨，与此相关的二氧化碳排放超过9亿吨，绿氢占比只有0.4%。我国是世界最大的制氢国，可再生能源制氢不到1%。大规模低成本制绿氢技术路线尚存在技术难题。碱性电解水制氢缺少规模化应用，难以适应风光电力的间歇性和波动性；质子交换膜制氢成本高，关键技术与核心部件受制于人；阴离子交换膜、固体氧化物电解水、光解水、热化学循环水解制氢技术还处于基础研究或试点示范阶段。

痛点二：储氢——任重道远。氢能是实现长周期、季节性储能的重要选择。但从国际上看，大规模跨季节储能应用的技术、成本、商业模式问题尚未解决，国外大型地质储氢项目多处在试验探索阶段，我国基本没有布局。实现规模化和产业化的氢储能任重道远。

痛点三：输氢——运输不通、供需不接。绿氢生产和消费空间错配。风光大基地集中于“三北”地区，但作为氢气消费大户的工业园区主要分布在东部和环渤海地区，大型钢厂也

主要分布在东部，特别是沿海地区，这客观上要求储运衔接供需。由于液化储运核心专利大都在国外，固态储氢材料大多仍处于研发阶段，高压气态储氢仍是最常见的储氢方式。我国气态储氢基础材料、生产工艺、加氢设备关键器件等大多仍需进口，而且经济运输距离仅在200千米以内，输氢成本在氢气终端售价中的比重高达40%~50%，成为氢能规模化发展的掣肘。

**痛点四 用氢——工业领域巨大脱碳潜力尚待释放。**我国氢能发展以交通领域作为先导，但氢能源≠氢燃料电池≠氢燃料电池车。我国80%碳排放来自工业，而超过80%的氢气消费也在工业领域，工业领域拥有最大的氢能脱碳潜力。国内外关于氢能需求量的预测均表明，未来氢能消费量最大的依然是工业领域。

**痛点五 成本高，难以规模化应用。**电解水制氢成本为化石能源制氢的2~3倍，可再生能源制氢成本更高。绿氢项目立项多，但实际落地运行的还较少。全国多个省份规划布局了风光氢一体化项目，项目数量合计将近190项，大部分为在建及规划项目，其中建成运营的仅十几项。

### **氢能绿色发展相关建议**

一是当务之急建标准。需加强对绿氢标准的研究制定。结合我国“双碳”工作及氢能发展实际，明确绿氢行业或国家标准，这是产业发展的重要基础，也是制定相关政策的科学依据。同时，需要积极参与国际标准的制定。

二是优化组合绿氢源。以绿氢为导向，鼓励新能源大基地优先发展制氢产业；鼓励化石能源和新能源优化组合，通过绿电—绿氢转化，在化工、冶金等领域逐步实现绿氢对灰氢的减量替代。

三是多管齐下通储运。支持开展高压气态、有机液态、液氢、管道等多种输氢路线的技术示范，打通产业堵点，解决供需不匹配问题。针对新能源大基地，近期鼓励就近消纳，优先发展制氢产业，减少氢能长距离运输，探索风光氢储用一体化生产模式。中远期考虑长距离外送，研究探索“西氢东送”“北氢南送”的可行性。当前可开展点对点纯氢管道、短距离天然气掺氢管道示范，适时选择钢级较低、压力不高的长输管道开展试验论证工作。

四是规模应用在工业。出台相关扶持政策，促进绿氢在工业领域的规模化应用，以实现工业领域深度脱碳。氢能在工业领域的规模化应用，将带动大功率绿氢制备技术与装备、管道输送以及大规模储氢技术的发展。

五是千方百计降成本。首先，技术创新降成本。聚焦短板弱项，适度超前部署一批氢能项目，持续加强基础研究、关键技术和颠覆性技术创新，建立协同高效的创新体系。其次，

模式创新降成本。在大基地探索风光氢储用一体化生产模式，降低氢能供给成本。构建分布式可再生能源或谷电制氢的制—储—加一体化站内制氢模式，推动氢能分布式生产和就近利用。最后，深化改革降成本。深化电力体制改革，鼓励风光等可再生能源离网发电制氢，落实“隔墙售电”政策。对可再生能源制氢项目给予电价补贴，鼓励氢储能作为独立市场主体参与电力市场交易、获得价值补偿。打通氢市场、碳市场、电力市场，研究将氢能应用减排量开发为国家核证自愿减排量（CCER），支持氢能项目的碳减排量参与碳市场交易，通过市场交易使氢能绿色环保价值得到应有的体现。

六是综合施策推示范。针对产业发展痛点难点，以示范带动技术提升和成本下降。通过示范不断积累经验，形成可复制、可推广的经验。具体示范类型可分为两类：一类以氢能应用为牵引开展综合示范，基于工业、交通等不同应用场景的减碳需求，发挥氢能作为用能终端低碳转型载体的作用；另一类可就产业链关键薄弱环节、技术难点问题开展专项示范，如可再生能源制氢、储氢和发电调峰一体化技术示范，开展大型储罐、盐穴储氢等规模化储氢技术示范等。

## 首个纯氢长输管道项目启动天然气长输管道掺氢获突破

我国氢能大规模运输难题有解了

中国能源报 2023.4.24

中国石化4月10日宣布，拟建设全长400多公里的“西氢东送”输氢管道示范工程已被纳入《石油天然气“全国一张网”建设实施方案》，标志着国内首个长距离纯氢输送管道项目启动。4月16日，中国石油宣布，用现有天然气管道长距离输送氢气技术获突破，可为我国大规模、低成本、远距离氢能运输提供技术支撑。

在“双碳”目标背景下，氢能作为一种较具潜力的绿色低碳能源，被众多企业视为转型新赛道并加快布局。但目前，氢气主要以长管拖车等公路运输方式为主，运输成本高且效率低，严重制约产业规模化发展。在多位业内人士看来，管道输氢是实现氢气大规模、长距离运输的最佳方式，接连取得突破对推动我国氢能产业快速发展具有重要意义。

### ■■解决绿氢异地供需矛盾

据中国石化透露，“西氢东送”管道规划西起内蒙古自治区乌兰察布市，东至北京市的燕山石化，全长400多公里，是我国首条跨省区、大规模、长距离的纯氢输送管道。管道一期运力10万吨/年，预留50万吨/年的远期提升潜力，同时将在沿线多地预留端口，便于接

入潜在氢源。管道建成后，将用于替代京津冀地区现有化石能源制氢及交通用氢，大力缓解我国绿氢供需错配问题。

中国石油发布的信息显示，在该公司宁夏银川宁东天然气掺氢管道示范项目现场，天然气管道中的氢气比例已逐步达到 24%，经过 100 天测试运行，管线整体运行安全稳定。

据《中国能源报》记者了解，国内现有天然气管道掺氢项目掺氢比最高仅为 10%，24% 的掺氢比例对掺氢相关产品标准和全产业链发展意义重大。北京石油化工学院氢能研究中心主任宇波认为，无论是天然气管道掺氢输送，还是建设纯输氢管道，都将很好地解决我国绿氢供需异地矛盾问题。

“我国主要的绿氢供给地一般在风光资源比较丰富的中西部地区，绿氢供给地远离东部用氢负荷中心，供需异地矛盾问题突出。氢能产业健康发展需要经济高效的氢运输技术，通过长输管道输送氢气具有输量大、安全、高效的特点。氢气长距离管道输送技术的发展，有助于解决氢能产业链中氢运输这一‘卡脖子’环节，进一步完善国内氢能运输体系。”宇波告诉《中国能源报》记者。

### ■■管道输氢经济优势明显

数据显示，截至 2021 年底，我国主干天然气管道总里程达到 11.6 万公里。有专家算过一笔账，以目前我国天然气消费量计算，当掺氢比达到 20% 时，就可运输 1000 多万吨氢气，约合 5600 多亿千瓦时绿电，运输成本会大幅下降。

中国氢能联盟此前发布的《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》指出，目前可行的输氢方式主要包括长管拖车、管道、液氢槽车、固态储氢车等，其中长管拖车输送方式较成熟，但载氢量低，每车载氢量在 300—400 公斤，且经济输送距离不超过 150 公里，不适于长距离、大规模输送。

“从输送压力、载氢量、体积储氢密度、经济输送距离、技术成熟度等方面对比常见氢输送方式，不同方式各有特点和适用场合。管道输氢具有输量大、安全、高效特点，当管道被充分利用、输送距离较长、输送量较大时，输氢的单位运输成本相对较低，经济优势显著。”宇波指出。

“长管拖车的优点是灵活便捷，但单次运氢量仅为 300 到 400 公斤，只占长管拖车总重量的 1%—2%，运输距离为 100 公里时的成本高达每公斤 5 到 6 元。以运氢量每天 4 吨测算，当运输距离从 50 公里增加到 600 公里时，20MPa 长管拖车运输成本由每公斤 2.4 元增加至 13.3 元。”中国石油大学（华东）储运与建筑工程学院副教授刘翠伟用数据向《中国能源报》记者做了对比，“对于管道输氢，以运力利用率 100% 测算，当运输距离由 50 公里增加到 500

公里，运输成本仅从每公斤 0.8 元增至 2.3 元，显著低于气氢长管拖车、液氢槽车等运输成本，未来氢能全面普及到各领域后，管道输氢将成为最具潜力的输氢方式。”

## ■ ■ 亟待形成标准体系

据《中国能源报》记者了解，目前纯氢管道中的氢气可以进入化工厂、燃料电池等终端，掺氢管道里的氢气与天然气混合物通过管输可进入氢能社区、园区或分离增压进入化工厂、燃料电池等终端。

“在工业领域，掺氢天然气可用于工业锅炉、热处理等过程，替代部分传统化石燃料，减少污染物排放；在交通领域，掺氢天然气可提高天然气内燃机的热效率，降低车辆尾气中的甲烷排放量；在家庭和商业领域，掺氢天然气可用于家庭和商业用途，如供暖、烹饪、热水等，实现清洁能源的普及应用。”刘翠伟介绍。

尽管各方面优势明显，但与国外相比，目前我国在管道输氢方面仍处于起步阶段，距离形成完善的氢气存储和输运网络渠道还有距离。

“我国在纯氢工业管道、专用管道方面积累了较丰富的建设及运维经验，总里程超过 300 公里，但在纯氢长输管道建设方面较滞后，在役管道总里程不足 100 公里，同时天然气掺氢管道也多处于研究和示范阶段。”宇波坦言，“总体来看，我国在氢气管输系统设计、运维、试验方法等方面尚未形成标准体系。”

国家重点研发计划“氢能技术”重点专项中低压管道输氢项目首席李玉星教授也指出，目前我国在氢能关键材料、设备、零部件等方面的研发还不足。“高压氢环境下材料力学性能劣化是制约氢能产业安全性的关键问题，目前氢能关键材料的氢损伤机制仍不明确，关键设备及零部件的国产化也仍需进一步发展。另外，目前我国涉及氢气质量、储运和安全利用等技术标准较少，亟需建立一套较健全的国家或行业标准，规范氢能产业安全健康发展。”

## “氢氨联动”引热议

中国能源报 2023.4.24

“新能源发电具有随机性、间歇性和波动性特点，为解决新型电力系统中可再生能源发电与用电负荷不匹配的问题，新型电力系统必须有长期储能的技术解决方案，‘氢氨+新能源’是应对气候变化、实现碳中和的一个可行路径。目前在交通领域，氢氨与柴油的 PK 时机已经到来。”上海电机学院教授张华在日前召开的“新型电力系统沙龙”上表示。

业内认为，氨既可以作为储氢介质，同时也是相对廉价的零碳燃料，氢氨结合是理想的发展方向之一，对我国实现碳达峰碳中和目标具有重要意义，氢氨燃气轮机发电、氢氨储运技术等也将随之迎来发展机遇。

### ■ ■ 满足大规模储能需求

据介绍，氨是一种零碳化合物，同时能量密度很高，是液氢的 1.5 倍，因此，是天然的储氢介质，便于安全运输，可解决氢能的存储和运输难题。在化学性质方面，氨的液化温度只有零下 33 摄氏度，非常容易液化。与之相比，氢的液化温度则需降至零下 253 摄氏度左右，无论是采用车辆运输还是管道运输，液氨的难度都相对更低。

基于此，“氢氨路线”成为目前推动氢能产业发展的热点之一。张华认为，“氢氨+新能源”是应对气候变化、实现碳中和的一个可行路径。

张华表示，为解决新型电力系统中可再生能源发电与用电负荷不匹配的问题，电网需要储能，特别是要有长时储能的技术解决方案。目前成熟的抽水蓄能和电化学技术，在充分发展的前提下，可以满足短时储能的需求，而对于长时间、季节性、大规模的储能需求，氢氨是一个可行的技术方向。

“随着技术迭代和产业发展，制氢成本将迎来快速下降。但氢面临的储运难题是由其物理性质决定的，很难有技术把它做得很好。而氨在常温和低压下就可以是液态。如今，西部地区不少新能源开发项目把氢做成氨，实现了电-氢-氨化产业的有效联通。”张华进一步表示。

### ■ ■ 氢氨燃气轮机支撑大电网供电

在张华看来，在未来的能源系统中，氢氨的应用前景主要有两方面，其一是在交通领域，氢氨可作为燃料为使用混合动力系统的交通工具提供电能；其二是在电力领域，氢氨作为燃料和储能，为电网提供调峰、调频、惯量等服务。

“氨可作为燃机燃料进行发电，燃机高效且占地面积小，燃料灵活、余热利用率高，可助力能源结构全面转型。而在交通领域，氨可作为微燃机的燃料，为使用混合动力的交通工具提供电能。由于氨的能量密度比其它无碳的能量形式都高，氨燃机混合驱动的运载工具将为交通领域脱碳提供另一条可行的技术路线。”张华表示。

中国能源研究会能源政策研究室主任林卫斌强调，“双碳”目标下，电力结构将从以化石能源为主转向新能源占比逐渐提高，在此过程中，电力系统的整体形态、组织方式、交易方式都在发生系统性变革，关键产业的技术路径选择十分重要。氢能作为新兴的能源形态，尽管目前在传统电力系统中占比非常小，但碳达峰后，随着碳约束的加强，氢能在新型电力

系统中将有很大的发挥空间，通过重型燃气机组发电，可为氢的应用场景提供更多视角和解决路径。

在大电网供电方面，张华指出，利用地下盐洞、溶洞进行氢气储存和利用管道进行大规模运输，具备低成本、经济可行等优势，加上重型燃机的大规模发电应用提供转动惯量实现电网高品质电能，可共同支撑大电网稳定运行。

### ■ ■效率和经济性需持续提升

从产业技术进步的角度看，在氢氨技术路线探索过程中，效率和经济性仍是最大挑战。

张华表示，虽然现有的燃气轮机通过改造，可以直接使用氢、氨，但因为燃气轮机最初设计时并没有考虑到这个问题，因此，改造后的氢氨燃气轮机的燃烧形式和热能转换效率都不高。未来重要的技术发展方向在于，让氢氨燃气轮机的机器效率达到如今烧天然气的效率。

“目前在交通领域，氢氨与柴油相比具有成本竞争力，二者的PK时机已经到来，但在电力领域，氢氨应用尚处于探索阶段，成本竞争力不足，因此与煤的PK时机尚未成熟。”张华说。

与此同时，新型电力系统也正面临着生产力和生产关系等多方面的变化。国网能源研究院副总工程师兼企业战略研究所所长马莉介绍，在生产力方面，电源结构、调节电源、电网形态都在发生变化。例如，在调节电源上，系统调节资源从目前的常规电源调节，拓宽到了需求侧的灵活性调节资源，以应对极端气候变化带来的长周期灵活性挑战。

此外，氢能产业也需要更长时间的成熟过程。“基于目前我国的能源结构，氢能的利用路径需要持续探究，其中效率和成本是两个关键因素，如果不能提高效率降低成本，任何技术都很难推广应用，因此要探索出更多适合氢能利用的商业模式。”马莉表示。

“在构建新型电力系统过程中，能否跨越天然气转向氢氨作为过渡能源，目前看来在技术和经济性方面都有待观察，需要重点关注。”华北电力大学教授董军说。

## 八、风能

### 风电产业“风”头正劲

中国城乡金融报 2023.4.7

党的二十大报告提出，积极稳妥推进碳达峰碳中和，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。风电是可再生能源中应用最为成熟的形式之一。加快风电产业发展对我国能源结构调整、推进能源生产和消费革命、促进生态文明建设具有重要

意义。随着我国碳达峰碳中和目标的逐步实现，风电产业将迎来更广阔的发展前景。

### 海上风电加速发展

当前，风电建设模式主要包括陆上风电和海上风电。其中，海上风电具有诸多优势，尤其是深远海域，拥有更为富集的风能资源。

WFO（世界海上风电论坛）数据显示，2022年，全球累计海风装机57.6GW（吉瓦），新增9.4GW，其中我国新增6.8GW，贡献全球72.3%新增装机量。截至2022年底，中国累计投产海风装机量达26.6GW，占全球总装机量44%。从陆风资源和海风资源比较上看，海上风电资源更为丰富，由于海风风速大、风力稳定且无地表障碍物限制，因而功率密度更高。从我国海上风电资源和省份用电需求看，福建、浙江、山东、江苏、广东等用电大省均位于沿海地区，这些省份发展海上风电地理优势明显，运输距离短、输送成本低，资源禀赋与用电需求相契合，适宜建设风电场。

海上风电向深远海进发是大势所趋。近海发展海上风电面临诸多约束。从空间资源角度看，近海区域各类活动需求大，如旅游业、养殖业、军事资源等通常遍布近海。近海风电项目尤其容易受到航线影响，因近海水域往往包含大量航线，海底电缆铺设或风电基础设施建设可能受到往来船只抛锚或航线运行不准带来的伤害。近年来近海风电场装机量迅猛增长也已使得近海优质风资源地区逐渐减少。相比之下，深远海空间资源则更加开阔，其他活动少，开发限制少，具备大规模建场开发的条件。

欧洲海上风电发展较早。数据显示，欧洲固定式海上风电项目平均离岸距离已经接近顶峰，而亚洲海上风电起步较晚，离岸距离还未见峰值，可以预见海上风电项目离岸距离将呈现增加趋势。

### 盈利承压修复在即

2022年，受疫情形势和国际局势变化等因素影响，全球风电项目建设进度放缓，侵蚀产业链利润空间。一方面，国家能源局数据显示，“十四五”期间我国陆上风电主要集中在三北大型清洁能源基地，2022年前三季度西北、东北、华北地区合计新增风电装机占比达75%；2022年下半年起风电装机大省普遍受疫情影响，交通运输、安装进度均受到影响。另一方面，俄乌冲突导致风电场建设原材料成本大幅上行，以成本占比较高的钢材为例，2020~2021年北美、欧洲、亚洲钢铁价格指数分别上涨138%、80%、31%；2022年上半年国内钢材价格虽较2021年二季度的峰值有所回落，但整体仍处于较高区间，欧美钢材价格直到2022年下半年才初步步入下行通道。在装机滞后及原材料成本的双重影响下，2021年下半年起风电产业链盈利持续承压，风电零部件板块毛利率逐季下滑，直到2022年三季度才触底企

稳。

随着疫情形势根本性好转，产业链供应链持续复苏，国内风电装机将重回上升轨道，建设速度将快于海外，盈利状况有望明显改善。同时，随着机组大型化趋势加速以及大宗商品价格回落，风电度电成本将进一步下降，当前全球陆上、海上风电经济性凸显，2023年风电产业链盈利能力将显著修复。

### 市场广阔景气提升

新能源和可再生能源是我国多轮驱动的能源生产体系的重要一环。我国已明确提出，到2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。2022年政府工作报告强调，我国将加快推进新能源发展，实现可再生能源消费占一次能源消费比重达到30%左右。在落实我国碳排放峰值、碳中和目标，实现我国能源结构转型过程中，大力发展风电是必由之路。未来，风电产业将迎来更大的发展空间。

未来五年，我国风电装机规模有望达到1.2亿千瓦以上。2023年全国两会能源报告指出，未来我国海上风电发展前景更优，是拉动全球装机增长的主力。2022~2026年全球风电将新增557GW，至2026年全球风电并网规模将达1400GW，年均复合增长率为10.7%，年均新增超过110GW，其中陆、海风分别为93GW、18GW。2022~2026年，海风年新增规模有望由8.7GW增长至31.4GW，年均复合增长率达37.8%。可以预见，我国风电行业将迈入加速发展阶段，随着建造技术向“大型化、轻量化、一体化”方向发展，海上风电有望进入平价时代，行业景气度进一步提升。(秦如冰陈琦)

## 单机容量最大国产化海上风电机组完成总体设计

中国能源报 2023.4.17

4月8日，中国电机工程学会海上风电技术专委会2023学术年会信息显示，中国华能牵头研制的18MW国产化直驱型、半直驱型海上风电机组已完成总体设计，即将开展国产化关键部件制造。这是目前世界单机容量最大的海上风电机组，整机国产化率将超过90%。

中国华能发挥创新联合体产学研用协同作用，联合中国海装、东方风电等风电制造企业，针对18MW国产化直驱型、半直驱型海上风电机组120米级超长柔性叶片高线速度下的空气动力学特性开展深入研究，突破国产化碳纤维材料、主轴设计技术和制造工艺，形成高可靠性的轻量化传动链方案，提出能够适应海上复杂恶劣环境的主控和并网控制策略。

据悉，该机组有望于 2024 年整机下线，届时将实现叶片、主轴承、主控 PLC 系统、变频器等关键部件全国产化。

当前，我国海上风电正处于高速发展时期，截至 2022 年底，我国海上风电累计装机达到 3051 万千瓦，占全球海上风电总装机近 50%，已成为全球海上风电装机容量最大、风电机组制造数量最多的国家。“双碳”目标下，我国海上风电正在加快规模化、集约化开发，从近海浅水区逐步走向深远海，海上风电已成为全球电力科技竞争的新高地。但海上风电机组叶片碳纤维材料、主轴承、主控 PLC 系统等关键部件因较高技术难度仍被外国垄断无法实现国产，严重制约了我国海上风电高质量发展。

2021 年以来，中国华能发挥旗下华能清洁能源技术研究院技术创新优势，履行央企担当、践行“链长”责任，牵头组建海上风电技术联合体，打造国家海上原创技术策源地，加强原创前瞻性技术布局与核心技术攻关，在海上风电技术领域不断取得新突破新成果。该院先后牵头研制了 5MW 国产化高速永磁型、7MW 国产化直驱型和 11MW 国产化直驱型风电机组，形成覆盖主流技术路线、适应东部多个沿海地区的国产化风电机组系列产品，为行业打通了一条风电机组国产化设计、制造、测试验证产业链条，为我国实现自主技术提升积累了成功经验。

华能清洁能源技术研究院董事长李卫东介绍，风电机组国产化批量应用后，可使风电机组成本下降 10%，有力推动我国海上风电平价进程，同时可避免极端时期外国对我国的技术和产品封锁，保障我国能源安全，助力实现“双碳”目标。（肖雅）

## 国内完成首次构网型风电场电磁暂态仿真测试

中国电力报 2023.4.12

4 月 4 日，国内首次构网型风电场接入大电网全电磁暂态仿真研究完成，标志着新疆电网强力打造的新能源主动支撑技术“四大场景”之一的构网型风机研究取得重要进展。

天润木垒风电一场位于昌吉回族自治州木垒哈萨克自治县东北约 77 千米处，站内共 45 台风机，其中构网型风机 41 台、跟网型风机 4 台，总装机容量 10 万千瓦，是目前全国首次在送端直流近区接入构网型风电机组规模最大的风电场。

为全面响应国家“双碳”战略目标，服务新疆新型能源体系健康发展，国网新疆电力有限公司联合中国电科院、金风科技股份有限公司组成技术攻坚团队，圆满完成国内首次构网型风电场适用于大电网电磁暂态分析和新疆电网首次系统级全电磁深入研究工作。

构网型新能源设备因其具备并网和单独运行方式灵活切换、自主提供惯量支持、提供电网电压支撑、新能源系统阻尼可控、虚拟阻抗可调节谐波等特性，最终可实现 100% 可再生能源供电。但目前，构网型新能源设备特性以理论分析和区域小电网分析为主，以省级实际电网为背景的毫秒级时间尺度特性认知经验不足。团队历时 2 个月，滚动修正 6 版风机模型，并从单机、场站、系统 3 个层面，全面开展了 6 大项构网型风机电网适应性、7 大项系统级故障影响及 40 余种故障形态下的构网型风电场并网稳定性仿真分析，全面揭示了构网型风机特点，明确回答了天润木垒构网型风电场站内短路试验能否开展、在哪开展以及对新疆电网稳定运行影响等问题，为新型风电装备在疆落地推广提供了强有力的技术支撑。

下一阶段，新疆电力将持续发挥引领作用，以新疆新型电力系统技术创新联盟建立为契机，深化产学研用合作机制，积极推进天润木垒风电一场站内短路试验，持续开展现场试验结果与实验室仿真结论比对分析，深挖电力系统多场景运行方式下的构网型风机实际运行特性，推动构网型新能源落地示范，探索解决高比例可再生能源和高比例电力电子设备的“双高”电力系统强度弱、惯性小带来的稳定性问题。

## 浮式海上风电项目值得关注的法律事项

中国能源报 2023.4.24

因近海空间资源有限，海上风电逐步由近海扩展到远海。与其相对应的，是海上风电支撑结构也由固定式向漂浮式发展，进而使得浮式海上风电市场迅速扩张。

为大力支持浮式海上风电市场发展，近年来，我国出台了一系列政策。例如，《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”可再生能源发展规划的通知》等都对浮式海上风电发展提供了政策支持。

在此背景下，我国沿海地区制定了关于海上风力发电的相关规划和扶持政策，广东、山东、广西、海南、浙江、江苏等地已初步明确规划了海上风电装机总量超过 90 吉瓦。

在实践中，作为全球最大的海上风电市场，我国浮式海上风电发展势头迅猛。截至目前，中国海装、明阳智能、上海电气、金风科技等风电整机厂商都已宣布，将加大浮式海上风机的研发力度。同时，三峡新能源、华能、中广核、中海油等开发商，也开始布局浮式海上风电场的建设。浮式海上风电项目大有可为，但其作为较为新兴的市场也不免存在一些值得关注的法律风险。

### ■■投资主体变更要合规

鉴于浮式海上风电具有较强的计划性，为避免投资主体倒买倒卖项目，影响行业健康发展，虽然法律和行政法规没有明确禁止浮式海上风电项目公司股权转让，然而，国家发改委和国家能源局有关法规和规范性文件都明确禁止了浮式海上风力发电项目投产之前的“投资主体”变更。

所以，在实际操作中，浮式海上风电项目的投资主体在项目投产前，若未经原项目备案机关同意，则其项目投资主体无法变更。

在实践中，针对上述投资主体变更的主要解决办法为：在项目公司的上层增设一家公司（以下简称“上层公司”），并通过其股权转让来实现投资主体的变更。但是，该等实质层面投资主体的变更，亦须与相关监管部门适时同步、及时更新，以免在日后工程进行中出现穿透监管的情况。此外，该等变通解决方案要求投资主体在实施项目前，提前在架构设计中增设上层公司以保留灵活性。对于已按直接持股项目公司模式进行投资的，适用空间非常有限。

在投资主体变更受限的情形下，如何设计合法合规的收购方案，是影响浮式海上风电项目推进的重大问题。

#### ■■项目建设需取得海域使用权

在我国，依据《海域使用管理法》第三条，使用海域的单位或者人员，应当按照有关法律法规的要求，对其进行使用。由于浮式海上风力发电项目涉及风机机组、海上升压站建设、海底电缆铺设等建设工程，因此浮式海上风力发电场的建设需要获得海域使用权。许多地方政府对海域使用权实行“招拍挂”的出让相关管理办法。故而，对于海域使用权需注意核查其取得程序的合法合规性。实践中，一些地方政府认为重要工程的海域使用权可以不通过“招拍挂”而进行交易，因此要格外重视与有关部门的沟通，保证海域使用权的合法获取及拥有。

在如英国、美国等浮式海上风电项目强国，其海域使用权的取得一般有两种路径，一种是美国模式，即不设置准入门槛，采用多轮竞标报价，价高者得；另外一种为英国模式，即政府先根据企业建设能力进行筛选后，由进入名单的企业价高者得。上述两种模式在实际运转中存在着非常大的差异，我国企业在“走出去”进行投标时应做好充分的背调。

#### ■■需进行陆上及海上环评

按照《海洋环境保护法》《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》和《海上风电开发建设管理办法》等有关规定，浮式海上风电项目在申请海域使用权之前需遵守环境法律基本制度，即遵守“三同时”原则及进行环境影响评价。与陆上风电项目不同，浮式海上风电项目需要同时在海上和海底作业，故而在实践中，应当分别编制环评报告并分别取

得环保部门的环评批复。另外，对陆上集控中心的输变电项目，也有可能需要另外编制辐射环境影响评估报告并交由有关部门进行审批。

于浮式海上风电项目而言，实践中部分地区也存在环保部门对于项目陆上环评及海上环评同步合并批复的情形，因此，还需要考虑是否将陆上和海上环评报告单独编制；同时，建议与相关的环境保护部门沟通，以保证环境影响评价文件批复的及时性和有效性。

### ■ ■ 要保证 EPC 合同无瑕疵

浮式海上风电项目的建设是一项系统性工程，参照国外经验，我国浮式海上风电项目也采取了 EPC 合同模式，业主将设计、采购、施工等工程一并发包至合格的总承包单位。

按照我国《招标投标法》《必须招标的工程项目规定》《必须招标的基础设施和公用事业项目范围规定》，浮式海上风力发电项目一般被认为是关系到社会公共利益、公共安全的基础设施项目，涉及到的合同金额动辄上亿元，而业主往往涉及国有资本背景。所以，在实际操作中，需要着重考虑 EPC 合同的招投标程序和中标结果是否具有合规性，保证 EPC 合同无瑕疵。

在浮式海上风电项目 EPC 合同中需要尤为注意的是，作为浮式海上风电项目建设的总负责人，总包商面临来自业主和分包商的双重索赔风险。一方面，由于项目工期严格、海上作业窗口期有限，容易产生工期延误，进而招致业主的索赔。另一方面，由于分包商的风电安装船、敷缆船等专业设备租金较高，一旦出现分包工作范围以外的增项或者待工，分包商也将提出巨额索赔。因此，对于分包的工作内容，总包商需要在标前分包协议中合理设计条款，遵循背靠背原则。对于来自业主的索赔可以相应向分包商提出，而对于分包商的要求也可以相应向业主提出，转移自身面临的风险，以避免 EPC 合同和分包合同条款不对等造成总包商陷入两难境地。

### ■ ■ 积极应对专项审批多且复杂的难题

作为一个系统性工程，浮式海上风电项目也有其特有的难点，具体体现为项目专项审批多且复杂。该项目专项审批包括了社会稳定风险评估、项目通航安全评估评审、航路协调意见、地质灾害危险性评估审查、海底电缆路由勘测批复、文物及压覆矿查询、无军事设施审查等七项审批。因此，在浮式海上风电项目并购交易中，需要相关专业人员对上述审批进行逐一审查，以免影响项目开发周期及进度。

浮式海上风电项目投资动辄数十亿元，对于国企和民企来说都是非常重要的投资项目，需慎之又慎。在目前地方政府补助政策还不明朗的情况下，如果投资者想利用海上风能平价并网的调整和适应窗口期进行兼并重组，则需要综合以上所提到的重要法律问题，做好充足

的计划，尤其要与当地有关部门提前沟通，做好前期准备，才能把交易风险降到合理范围内。  
(管晓薇王伟琪)

## 九、核能

### 403 秒！中国“人造太阳”新突破

环球时报 2023.4.14

4月12日，中国有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）创造新的世界纪录，成功实现稳态高约束模式等离子体运行403秒，刷新2017年的101秒世界纪录。

香港《南华早报》13日称，中国“人造太阳”打破纪录，是探索高效热核聚变反应堆的最新里程碑。这标志朝着建造高效、低成本的热核聚变反应堆又迈出关键一步，为提高核聚变反应堆的技术和经济可行性奠定坚实基础。针对本次403秒重大突破，中科院合肥物质科学研究院副院长、等离子体物理研究所所长宋云涛说，这次突破的主要意义在于“高约束模式”，高约束模式下粒子的温度、密度都大幅度提升，“这为提升未来聚变电站的发电效率、降低成本奠定了坚实物理基础。”

香港《星岛日报》13日称，EAST装置取得的重大创新成果，为国际热核聚变实验堆（ITER）运行和中国自主建设运行聚变堆提供了重要的实验基础。1月，中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所透露，该所核聚变大科学团队利用EAST发现并证明了一种新的高能量约束模式，对国际热核聚变实验堆和未来聚变堆运行具有重要意义。

新加坡《联合早报》称，探索开发聚变能源的ITER，由中国、欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯、美国七方共同参与建造，被誉为全世界最大的“人造太阳”，是目前全球规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一，中国承担了其中约9%的任务。去年11月，中核集团核工业西南物理研究院宣布，ITER增强热负荷第一壁完成首件制造，其核心指标显著优于设计要求，具备批量制造条件。

据悉，这次突破历经12万多次实验，离不开等离子体控制、加热、壁处理、先进诊断等技术提升和内真空室改善。目前，下一代“人造太阳”中国聚变工程实验堆已完成工程设计，未来瞄准建设世界首个聚变示范堆。（任重）

# 俄开发出核废料处理新技术

参考消息 2023.4.20

【今日俄罗斯电视台网站 4 月 17 日报道】莫斯科国立大学的一份报告称，俄罗斯化学家正在研究一种新方法，它可以改进核废料的处理过程。该方法会使用一种化合物，它容易与铀结合，但不会与核废料中的其他重金属结合。

乏燃料棒（即使用过的核燃料棒）通常含有一定数量的铀和钚，它们经过提取可以生成新的核燃料。核裂变的其他副产品还包括镅、锔和锿等持久放射性元素。它们都有自己的用途，但如果与其他垃圾一起掩埋会构成安全风险。

核工业界可以利用化学再加工过程来提取这些元素以及其他有价值的成分，然后再将乏燃料棒长期封存。不过，这一过程相对复杂。

俄罗斯科学家正在探索的是一种取代行业标准做法的方法，会增加一个步骤，先把铀提取出来。被称作锕系元素提取的这个方案是，利用一种特殊化学物质从硝酸溶液中提取铀。

莫斯科国立大学化学系的科学家测试了一种源自邻二氮菲的有机化合物，它可以与铀形成离子键。他们发现，在将测试对象由实验室模拟废燃料变为工业回收过程处理的废燃料后，该化合物的效率超出预期。

研究人员斯韦特兰娜·古托罗娃解释说：“这种化合物可以‘攫取’大量的铀，每个单位的提取剂可以与两个单位的铀结合。由于模型样本中的铀浓度较低，此前没有任何研究团队发现这种效应。”

该研究小组今年早些时候在《无机化学》杂志上发表文章，描述了他们的研究成果，并说邻二氮菲衍生物提取铀的效率与传统方法不相上下。

科学家们计划对类似化合物进行测试，以确定它们的效率是否更高。他们希望找到一种只与铀而不与钚结合的化学物质，从而简化这些物质的再利用过程。

## 新型超滤分离法“降伏”核废料锔

科技日报 2023.4.21

近日，苏州大学放射医学与辐射防护国家重点实验室王旻凹教授团队联合中外科研团队，研发了一种新型超滤分离方法，有望用于乏燃料后处理、放射性污染控制、放射性同位素分离纯化、放射化学诊断分析等重要任务。相关研究成果 4 月 20 日发表在《自然》期刊上。

核电是人类应对能源短缺以及碳排放问题的重要途径。但是，如何安全高效处理处置核

燃料循环所产生的强放射性核废料，仍是尚未解决的世界性难题。相关研究表明，次锕系元素镅是核能发电过程的副产物，也是核废料长期放射毒性的主要来源。核废料经过铀钚分离后，其具有多个长半衰期放射性同位素（如镅-241 和镅-243）。

为了将镅进行高效分离并通过中子嬗变使其变为低毒性、短寿命的核素，科学家将目光集中在与镅的化学性质十分相似的三价镧系元素上，因为镧系元素作为中子毒物会显著影响镅的嬗变效率。理想的方法是将三价镅氧化到六价，利用六价镅与三价镧系在配位构型上的差异实现分离，可有望从根本上解决镧锕分离难题。

但六价镅在传统萃取分离过程中仅能存在数秒时间，从而给分离带来困难。因此，国际上还没有能让六价镅保持稳定的可行性方法。

为了解决这一核废料处置中的重大技术瓶颈问题，王旻凹团队从六价镅的配位化学性质出发，设计了一例可精准匹配六价镅配位构型的无机缺位多酸簇合物。该多酸簇合物通过与六价镅离子间的强络合作用形成水溶性纳米级复合物，从而率先实现了水溶液中六价镅的超长时间稳定。

据此，研究人员发展出一种基于镧锕物种尺寸差异的新型超滤分离方法，获得了高达 780 的二元镧锕单步分离因子和 91% 的单步镅回收率。

这是迄今为止国际上报道的六价镅和三价镧系之间的最好分离效果。王旻凹教授表示，此方法具有高效、安全、环境友好、快速且低能耗等系列优势，具有良好的应用前景。

## 我国主要核电堆型设备国产化率超 90%

科技日报 2023.4.27

中国核能行业协会 4 月 26 日发布的《中国核能发展报告 2023》蓝皮书显示，我国核电关键装备自主化、国产化水平稳步提高，核能装备制造能力全面提升，主要核电堆型设备国产化率达到 90% 以上。

蓝皮书数据显示，2022 年以来，我国新核准核电机组 10 台，新投入商运核电机组 3 台，新开工核电机组 6 台。截至目前，我国在建核电机组 24 台，总装机容量 2681 万千瓦，继续保持全球第一；商运核电机组 54 台，总装机容量 5682 万千瓦，位列全球第三。2022 年，我国核电总装机容量占全国电力装机总量的 2.2%，核能发电量达到世界第二。

去年国内核电主设备累计交付 54 台套，交付数量创近 5 年新高。通过实施核心设备和零部件国产化攻关，我国已形成百万千瓦级压水堆核电主设备成套供货能力。特别值得一提

的是，国和一号湿绕组电机主泵和屏蔽电机主泵等一批核电关键装备首台套交付；示范快堆1号机组堆芯支承、热交换器、新组件装载机、提升机等设备陆续交付现场；聚变堆主机关键系统综合研究设施TF线圈盒项目研发工作取得阶段性成果。我国具备同时建造40余台核电机组的工程施工能力。

截至目前，国内外共有5台华龙一号机组建成投产，9台机组正在建设，批量化建设的有序推进，标志着我国真正自主掌握了三代核电技术。国和一号示范工程建设正在顺利推进，一批关键设备如期交付。高温气冷堆核电站科技重大专项示范工程实现了初始满功率运行。海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程建设有序推进，已进入设备安装阶段。此外，钠冷快堆、铅冷快堆、聚变堆等先进核能系统的关键技术研发也获得新突破。海上小堆技术研发不断深化，供热堆型号设计和示范工程积极推进。聚变堆研发积极推进，中国环流器2号M装置实现等离子体电流100万安培的突破，为我国开展堆芯级等离子体实验研究奠定了坚实基础。

蓝皮书显示，当前，我国核燃料循环产业保持稳健发展态势。

除了核能发电量不断提升，我国也不断拓展核能综合利用的领域。当前，核能供暖、核能工业供热以及同位素研发生产等领域发展迅速，同时核技术在医学、工业、安保等领域的应用规模持续扩大。

## 十、其他

下半年本土首个掺氢调峰试点项目启动

### 英国推动天然气掺氢进程

中国能源报 2023.4.3

自去年上半年英国作出“2023年将一定比例氢气混合到天然气网络”的决定以来，该国掺氢热情日益高涨，本土首个天然气电站掺氢调峰试点项目将按计划于下半年启动。尽管氢气与天然气混合燃烧发电的经济性和环保性有待进一步评估，但英国整体对低碳混合气前景持乐观态度。

#### ■ ■ 需尽快确定掺氢率

“政府应该尽快对天然气掺氢率做出批复，越快确定掺氢率，才能更快刺激掺氢技术和相关试点项目商业落地。”英国政府低碳天然气顾问、英国专用化学品公司庄信万丰催化剂技术首席执行官简·图古德日前公开表示。图古德指出，氢能是帮助英国实现净零排放目标

的关键解决方案之一，随着能源安全、气候变化等问题日益尖锐，全球对氢生态系统需求正迅速跨越工业、运输和电力部门。“水泥、钢铁、玻璃等能源密集型行业特别适合转用氢气，而且氢气还可以为商用飞机、船舶、重型货车和救护车等大型车辆提供动力，这些车辆无法承受漫长的充电时间。”

值得一提的是，图古德去年7月被英国商业、能源和工业战略部任命为英国首个“氢能冠军”，这一角色相当于政府独立专家顾问，职责是与行业利益相关者和投资者接触，以确定氢项目投资障碍和利好影响，并就如何加速氢经济转型向英政府建言献策。

英国商业和能源部长夸西·夸滕表示：“图古德的工作是确保氢能行业和政府部署协调一致，从而加快氢生产，将其作为一种清洁能源，提高本土能源安全并创造就业机会。”

《卫报》指出，英国83%的家庭和20多万家企业都离不开天然气，这使得英国对天然气的依赖性颇高。在此背景下，与氢气混合的天然气成为一个低碳高效解决方案。

据了解，英国政府将在今年内决定是否将高达20%的氢气混合到天然气分配系统中，旨在取代天然气锅炉进而降低排放，这是该国实现到2050年净零排放目标的一部分。天然气锅炉排放量约占英国温室气体排放总量的1/5。

“所有新燃气锅炉都应该为掺氢做好准备。”图古德直言，“最早2026年就需要使用混合天然气，届时并非所有家庭都能够轻松转换为电动热泵。”她强调，不管是可再生能源电解水制“绿氢”，还是化石燃料配合碳捕捉和封存技术所制“蓝氢”，都可以混合到英国天然气管网中。

## ■■掺氢调峰试点即将开始

英国最大天然气供应商森特理克日前表示，下半年将按计划启动旗下天然气电站掺氢试点项目，这有望成为英国首个掺氢调峰项目。

据悉，森特理克位于林肯郡装机49兆瓦的天然气电站主要满足用电高峰期或可再生能源发电量较低时的电力需求，通常每天运行不到3小时。掺氢试点项目旨在测试在发电站中将氢气与天然气混合在一起的实用性，目的是降低整体碳排放强度。

这一掺氢试点项目实施周期为12个月，今年第三季度启动初期，天然气掺氢率仅为3%，项目开展后逐步提高到20%，最终目标是实现100%使用氢气。

与此同时，英国能源网络协会的天然气网络掺氢计划也于今年启动。该计划将在2023-2024年冬季期间，在全英范围内供应掺氢率20%的天然气，旨在为英国天然气电站使用更清洁的混合天然气奠定基础。根据英国能源网络协会估计，20%掺氢率预计每年将减少大约600万吨二氧化碳排放量。

英国国家电网公司氢气项目主管安托尼·格林强调，为实现更高掺氢率，英国应尽快启动能源基础设施改造。

眼下，英国健康与安全执行局正在评估家庭、商业和工业环境中使用氢的安全性。

### ■■成本和安全是挑战

对于掺氢天然气是否适用于家用锅炉，业内的看法两极分化。支持者认为，与安装电动热泵等其他低碳供暖系统相比，改用低碳氢的锅炉给环境带来的破坏性较小。“低碳氢是一个新产业，虽然无法成为英国未来能源需求的绝对良方，但其低碳属性仍可以在能源结构中拥有一席之地。”图古德强调。

事实上，天然气掺氢可以改变天然气的燃烧特性，增加燃烧值，同时还可以利用天然气管道等基础设施，为现阶段氢气运输、氢能广泛及规模运用带来更多可能性。

但是，反对者认为，混合气体可能会延长天然气在家庭供暖中的使用时间，而且与电动热泵或太阳能等替代品相比，既不经济，效率也更低。根据康沃尔咨询估计，使用氢气进行家庭供暖的成本可能比使用天然气高出 70%。

此外，氢很容易渗透到固体金属中，使管道钢开裂，而其对塑料管道、压缩机、阀门和其他非管道设备如仓储设施的影响，仍需适当评估。

美国能源部国家可再生能源实验室氢系统分析负责人马克·钟表示，将氢混合到天然气管道中并不是新概念，但仍然存在很大知识缺口，掺氢影响需要综合考量材料、经济和运营等多方面因素，而且氢的能量密度也带来能量传输的挑战。

截至目前，全球尚未出台统一的掺氢天然气管道输送系统专用标准，各国天然气气体质量规范中可允许的最大掺氢比例也各不相同，这给掺氢技术研发和相关试点示范带来一定挑战。

## 可燃冰绿色可持续利用研究获进展

中国科学报 2023.3.30

中国科学技术大学教授熊宇杰、龙冉研究团队开发了一种绿色高效的光催化甲烷卤化技术，在仅利用光照、甲烷和海水的条件下进行卤代甲烷合成，进而以串联反应实现了甲醇和药物中间体的高效合成。相关研究成果日前发表于《自然-通讯》。

可燃冰是一种重要的储备能源，试采可燃冰的产品中 99.5% 是甲烷。据推断，在我国南海可燃冰的储量至少达 800 亿吨石油当量。目前可燃冰开采技术中的减压开采法，在可燃冰

减压过程中会导致可燃冰气化，对甲烷气体的储存和运输是一大考验。如能利用海上条件，将甲烷转化为高附加值的液态产品，将为可燃冰利用提供技术参考。

卤代甲烷作为一种多功能的平台分子，广泛应用于甲醇、乙酸、丙烯等高附加值化学品和燃料的生产。然而，目前卤代甲烷的合成通常涉及氯气、溴化氢等腐蚀性原料和苛刻的反应条件，不仅需要复杂的工艺和巨大的能量消耗，而且对环境具有潜在威胁。

该研究团队设计了一种铜掺杂的二氧化钛催化材料，以绿色且易得的碱金属卤化物为卤素源，在光照下实现了卤代甲烷的高效合成，生成速率达 1 毫摩尔每克每小时。该方法可以利用海上的光照和海水条件，将甲烷高效地转化为氯代甲烷，证实了光催化甲烷氯化技术在可燃冰利用方面的可行性。

在此基础上，研究团队设计了一种串联反应装置，实现了以甲烷为原料的甲醇和药物中间体合成。该工作为甲烷的高附加值转化和可燃冰的开采利用提供了全新视角。

## 我国海相深层页岩气勘探再获突破

科技日报 2023.4.10

4月7日，记者从中国石化新闻办获悉，中国石化“深地工程·川渝天然气基地”又获重大突破。该公司部署在四川省达州市的页岩气专探井雷页1井，试获日产42.66万立方米页岩气流。该井埋深超4000米，是我国首次在二叠系大隆组地层实现海相深层页岩气勘探突破，进一步拓宽了四川盆地页岩气勘探领域，助力保障国家能源安全。

据介绍，雷页1井位于达州市宣汉一达县地区，该区域二叠系海相页岩气具有良好的勘探开发前景。二叠系大隆组是四川盆地页岩气勘探的新层系，具有优质页岩非均质性强、构造复杂的特点。面对新层系，中国石化攻关团队充分利用地质露头、钻井取岩心和超3000项次分析化验资料开展持续研究，深化了二叠系优质页岩地质理论认识，揭示了二叠系海相页岩气层具有高有机碳含量、高脆性、高含气性、高压系数“四高”特征。同时，创新形成二叠系优质页岩高分辨率反演和多维多属性断裂预测评价技术，精细识别了优质页岩发育层段、横向展布及不同尺度断裂发育特征，明确了具有勘探价值的有利目标。

通常而言，埋深超过3500米的页岩气，被定义为深层页岩气。中国石化针对二叠系新层系深层页岩埋深大、“岩性+构造”双复杂，导致井轨迹控制难度大、压裂成缝机制认识不清的问题，开展了大量实验和数模研究，优化工艺参数，形成了复杂构造区深层页岩气水平井轨迹控制技术，实现了雷页1井在优质页岩分布非均质性强、构造复杂情况下，水平段钻

长 1315 米，优质页岩钻遇率 100%。同时，探索形成了二叠系新层系深层页岩气层配套压裂工艺技术，形成具有改造体积大、导流能力强的复杂缝网，对复杂岩相页岩储层改造具有借鉴意义。

## 我国高端超薄取向硅钢技术取得突破

科技日报 2023.4.18

日前从国网智能电网研究院获悉，该研究院高端超薄取向硅钢技术取得重大突破。中国金属学会委员会评审鉴定后认为，该成果总体达国际领先水平，解决了“卡脖子”问题。

据了解，一直以来，我国超薄取向硅钢年进口量约 3000 吨，价值超 6 亿元，不仅在特高压直流工程中受制于人，在航空航天、军工等高端领域也长期被国外垄断，国内大功率中频电工装备的发展受到严重制约。

历时 5 年攻关，国网智能电网研究院联合钢铁研究总院有限公司、宝山钢铁股份有限公司、武钢钢铁有限公司、包头市威丰稀土电磁材料股份有限公司等单位，在超薄取向硅钢的基础理论、无底层母材、核心工艺、涂层配方等方面取得重大突破，研发出 0.08mm 超薄取向硅钢带材及铁心，并成功应用于两条±800kV 特高压直流输电工程，助力特高压直流换流阀国产化率迈上新台阶。

国网智能电网研究院电工新材料所所长韩钰介绍，在≤0.10mm 厚度超薄限缩空间下形成锋锐的 Goss 织构难度极大，对带材轧制、高温退火、涂层等技术提出巨大挑战。项目组揭示储能分配调控 Goss 取向核依存规律及 Goss 晶粒大角度形核机制；开发了 0.23mm—0.30mm 等系列规格的无硅酸镁底层高磁感超薄取向硅钢母材、无机耐热涂层及高压制比轧制与一次再结晶加工工艺；建立百吨级超薄硅钢带材工业化生产线，材料损耗、磁感等指标大大提升等，实现我国高端超薄取向硅钢产品“从 0 到 1”的突破。

## 高产高纯制备半导体性单壁碳纳米管实现突破

中国科学报 2023.4.19

日前，西北工业大学材料学院教授赵廷凯团队针对半导体性单壁碳纳米管的可控制备，提出一种新的多循环生长工艺，选择性合成的半导体性单壁碳纳米管丰度高达 93.2%，产率从 0.76% 提高到 1.34%，为大规模合成高纯度半导体性单壁碳纳米管提供了新方法。相关研究成果发表于《化学工程杂志》。

文章通讯作者赵廷凯告诉《中国科学报》，半导体性单壁碳纳米管由于特殊的管壁结构具有独特的电学、光学等性质，对于开发新型纳米电子元件和传感器具有重要意义。而传统制备方法获得的单壁碳纳米管，通常是金属性和半导体性单壁碳纳米管的混合物，并难以分离，严重阻碍了其广泛应用。

赵廷凯团队博士研究生、文章第一作者杨磊表示，该团队提出了一种催化剂再生多循环选择性生长半导体性单壁碳纳米管的新工艺技术——通过再活化已失活的催化剂颗粒和有效调控生长碳源类型，直接进行半导体性单壁碳纳米管的多次循环生长，并通过理论计算揭示了选择性生长半导体性单壁碳纳米管的微观机理。

应用该新技术，能够成功实现高纯度与高产率半导体性单壁碳纳米管的可控制备。该成果为大规模选择性生长高纯度半导体性单壁碳纳米管提供了有效手段和新思路，为半导体性单壁碳纳米管在纳米电子器件、信息通信和生物医药等领域的广泛应用打下坚实基础。

## 增储上产，非常规油气铆劲发力

### ——油气专家深入解读我国非常规油气资源开发现状及未来趋势

中国自然资源报 2023.4.17

党的二十大报告指出，“加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快规划建设新型能源体系”“确保能源安全”。今年全国两会上，政府工作报告中也强调要加强重要能源、矿产资源国内勘探开发和增储上产。

能源是工业的粮食、国民经济的命脉、民生改善的保障，是支撑经济社会高质量发展的源动力和物质基础。我国非常规油气资源丰富，近年来随着勘探开发技术不断取得突破，页岩油气、致密油气、煤层气等非常规油气资源已成为常规油气资源的有效补充。然而，如何进一步挖掘非常规油气资源潜力，提升技术水平，推进规模效益开发，实现增储上产，仍面临诸多难点和挑战。

近日，记者就此采访了中国地质调查局油气资源调查中心的相关专家，就我国非常规油气资源的分布、特点、勘探开发现状和产业前景进行了深入解读。

#### 页岩气打好“规模效益开发”攻坚战

近日，中国石油化工股份有限公司、宜昌城市更新投资开发有限公司竞得湖北宜昌东、荆门北、荆门西 I、荆门西 II 等 4 个页岩气勘查区块探矿权，以总价 3862 万元成交。这是中国地质调查局油气资源调查中心（以下简称油气调查中心）支撑自然资源部挂牌出让的第

#### 4 批页岩气区块。

页岩气开发是我国天然气增产的重头戏。“近 10 年来,我国页岩气勘探开发进入快速发展阶段,页岩气调查接连在多个地区、多个层系获得重大突破和重要发现。”油气调查中心页岩气室主任李世臻说,“中国地质调查局组织实施的长江经济带页岩气地质调查和资源评价工作,在长江中游部署开展鄂西宜昌页岩气科技攻坚战,在震旦系、寒武系和奥陶系—志留系三套层系均获得高产工业气流,取得页岩气调查战略性突破。这次出让的 4 个勘查区块就是基于这些调查成果优选出来的。”

长江经济带近年来一直是我国页岩气勘探开发的主战场。据油气调查中心战略规划室主任包书景介绍,中国地质调查局高度重视长江经济带油气调查,在南方复杂地质构造区持续加大投入,相继在贵州遵义、湖北宜昌、安徽宣城等地区取得重大突破或重要进展,初步形成了贵州正安、湖北宜昌两大页岩气资源基地,实现了我国页岩气勘查开发向长江中下游的战略拓展。在贵州省正安县实现栖霞组、石牛栏组、五峰—龙马溪组和宝塔组“四层楼式”油气页岩气重大突破,其中志留系石牛栏组获得日产超过 10 万立方米的高产工业气流,实现了由盆内找油气向盆外找油气的重大转变。2019 年,油气调查中心在贵州六盘水地区首次获得了我国南方石炭系工业页岩气流,初步解决了垭紫罗裂陷槽构造形态和石炭系富有机质页岩展布两大关键基础地质问题。

国家能源局公布的数据显示,2022 年国内页岩气产量达到 240 亿立方米,较 2018 年增加 120%。据介绍,目前我国已实现中浅层页岩气高效规模开发,在四川盆地发现并探明了涪陵、威远、长宁、太阳 4 个大型页岩气田,形成了年产 300 亿立方米的产能规模,成为我国页岩气产量的主阵地。此外,深层页岩气勘探也不断获得突破并形成新产能,如泸州、永川、威荣等深层页岩气田。

“截至 2021 年底,我国页岩气累计探明地质储量超 2.75 万亿立方米,探明率不到 3%,大有潜力可挖。”李世臻同时也表示,复杂的资源禀赋条件和突出的技术瓶颈,令我国页岩气开发充满挑战。一是在深层页岩气规模效益开发上要不断攻坚克难。我国深层页岩气资源前景可观,但储层埋藏深、施工压力高、改造难度大,施工排量和改造规模受限,对长水平井压裂技术和装备的要求更高。

二是对常压页岩气富集保存规律的认识有待深化。我国南方地区地质历史时期受多次构造改造影响,大部分地层为常压含气页岩地层,其蕴藏的页岩气资源总量和储量规模较为可观,但具有中—低丰度和中—低品位的特征,目前对其生气、富集、散失、保存的演化过程及差异性的认识仍不十分清楚。

三是新区、新层系、新类型页岩气成藏机理和富集规律尚不明确。由于新区新层系的勘探程度较低，不同类型页岩气成藏机理、富集规律认识不清，导致优质资源分布区与资源富集“甜点段”并不十分明确。

四是页岩基础地质问题仍需攻关研究。如富有机质页岩形成与重大地质事件的关系、页岩微孔隙微裂缝的发育演化与表征、页岩储层中各种流体的竞争赋存机理、区域热演化及其对页岩含气性的控制、页岩气散失过程及其动力机制等。

五是页岩气开发降本增效还大有空间。无论是深层、常压还是新区新层系页岩气，要想提高页岩气采收率，实现效益开发，还要在低成本优快钻井技术、高效压裂技术、立体开发技术、大数据智能化管理技术等方面持续攻关。

### 页岩油在挑战中探出发展之路

除了富含天然气，有的页岩层系还富含大量石油资源，也就是页岩油。

尽管同为石油，但页岩油与常规石油资源不同，具有自生自储、储层致密、自然产能低等特点，需要采用水平井和大规模水力压裂等特殊技术措施才能获得工业产量。美国是世界上最早实现页岩油商业开发的国家，页岩油的成功开发为美国能源独立奠定了坚实基础。资料显示，2021年美国页岩油年产量达3.77亿吨，占其全国石油产量的65%。

“就我国而言，陆相沉积盆地中富有机质泥页岩分布层系多、范围广，赋存的页岩油资源潜力巨大。”油气调查中心非常规室副主任徐兴友介绍说。

数据显示，我国页岩油地质资源量约650亿吨，占全球页岩油资源总量的7%，位居全球前三位。根据中国工程院院士赵文智团队统计成果，截至2020年底，我国页岩油已累计提交探明地质储量13.06亿吨，地质储量达39.15亿吨。2021年，我国陆相页岩油产量达272.6万吨，成为原油稳产的重要接替资源。这得益于近年来我国各大科研机构和油田企业加大了对页岩油的科技攻关，相继在鄂尔多斯、松辽、准噶尔、渤海湾、四川等盆地取得重大突破。

中国地质调查局在“十三五”期间实施的松辽盆地页岩油科技攻坚战，针对青山口组部署实施的7口钻井均获工业油气流，引领带动了松辽盆地的页岩油勘查开发。在此基础上，中国石油天然气集团有限公司进一步加强页岩油的勘探开发，在松辽盆地古龙凹陷青山口组实现新增页岩油预测地质储量12.68亿吨，2021年生产页岩油2万吨，目前正在推进建设百万吨以上级国家陆相页岩油示范区。

“尽管国内页岩油勘探开发正值热潮，但我国陆相页岩不同于美国海相页岩，具有黏土含量偏高、热演化偏低、储层非均质性强等地质特征，无法照搬美国模式，一些关键地质和

工程问题尚待解决。”徐兴友表示，当前，我国大型盆地陆相页岩油富集规律，尤其是深湖相页岩油的形成富集机理研究尚处于初级阶段，不同类型页岩岩相组合及成因机制、富有机质页岩分布模式、页岩油渗流规律与产能主控因素等不明，温度场、压力场和应力场演化条件下的烃类流体与孔缝介质耦合动态成藏聚集机制不清，制约了页岩油有利区优选和“甜点区”预测。而且，页岩油高效勘探开发关键核心技术仍处于“卡脖子”阶段。尤其是黏土矿物含量高的深湖相页岩油开发利用面临“钻不成、压不开、撑不住、见油慢、稳产难”的挑战。

徐兴友同时强调，页岩油成藏要素有别于常规油气，突破了经典石油地质学圈闭概念，以烃源岩层中大规模连续成藏为主要特征。值得关注的是，大型盆地周缘广泛分布的中小型盆地群大多发育生烃能力好的烃源岩层，由于构造运动复杂，缺乏有效的运移通道和富集圈闭，常规油气勘探效果不佳。建议可按照页岩油的思路，加快对大型盆地外围矿业权空白区的调查评价，有望形成一批页岩油资源接替基地。

### **煤系气亟待摸清资源家底**

煤系气是近年来颇受关注的另一种非常规天然气资源，包括含煤岩系中蕴藏的煤层气、页岩气、致密砂岩气（通常被称为煤系“三气”或“煤系气”）。我国是煤炭资源大国，聚煤时期跨度长、聚煤盆地面积大、煤系层数多且分布范围广，多数煤系不仅赋存有大量的煤炭资源，还共伴生有丰富的天然气资源，值得进一步研究和探索。

自2014年以来，瞄准煤层气矿业权空白区、低勘探程度区，中国地质调查局开展了煤系气资源综合调查评价，在黔西—川南1000米以浅发现二叠系海陆过渡相中高煤阶、多薄煤层煤系气，在鸡西盆地1000~1500米及1500米以深发现了中生界陆相中低煤阶薄互层煤系气。

随着基础地质理论研究和勘探开发技术的突破与进步，近年来，煤层气勘查由浅层（<1000米）向中深层—深层（>1000米）拓展，由单一煤层气向煤系“三气”拓展，带动延川南、大宁—吉县、五彩湾等1500米以深煤层气及煤系致密气直井产量突破3万立方米/日、水平井产量突破10万立方米/日。

“这标志着我国煤层气产业发展步入一个新阶段——向深部进军。深层不再是煤层气、煤系气的勘探禁区，而是增储上产的重要领域。”油气调查中心非常规室主任张家强强调，当前深部煤层气、煤系气勘探开发还面临资源家底不清、适配性技术缺乏、难以实现效益开发等问题。据介绍，我国历次煤层气资源评价仅针对埋深2000米以浅地层，而2000米以深煤层气资源评价还尚未开展，也未对煤系“三气”资源进行综合评价。“而且，由于不同

地区、不同煤阶、不同深度的煤系储层所处围岩环境差异较大，已有的储层改造技术并不通用。因此，中深层煤系气资源要实现开发利用，仍需进一步攻关煤系储层改造适配性技术。”张家强说。

### **增储上产油气基础调查要全面发力**

推动油气增储上产是保障国家能源安全的战略选择。页岩气、页岩油、煤系气，作为常规油气资源的有益补充，如何进一步挖掘资源潜力，破解当前面临的问题？

包书景建议，四川盆地五峰组—龙马溪组深层（>3500米）页岩气是增储上产的主力军，要不断提高深层页岩气富集规律认识水平和深层储层压裂改造工程技术能力。对于分布在重庆彭水、武隆，贵州道真、正安，云南永善—大关，陕南汉中，湖北宜昌、恩施等四川盆缘及盆外复杂构造区的五峰组—龙马溪组常压页岩气，要精细研究页岩气赋存机理和配套技术，支撑“提产”实现效益开发。此外，四川盆地陆相侏罗系、南方复杂构造区寒武系和二叠系、滇黔桂地区石炭系、鄂尔多斯盆地二叠系和三叠系、松辽盆地白垩系等，是有望实现页岩气增储上产的战略接替领域，要深化成藏机理和富集规律的认识，尽快落实“甜点区”和“甜点段”。

徐兴友表示，我国页岩油开发尚处初级阶段，其聚集成藏的一些关键问题尚不明确，当下要加快对页岩油有效储层形成条件、成岩演化改造、油气充注过程、相态转化及赋存形式等科学问题进行攻关，进一步深化页岩油富集规律认识。同时，针对中高成熟度页岩油，加快开展页岩油甜点直接检测、超临界二氧化碳复合体积压裂、页岩油提高采收率与碳封存一体化等技术和设备研发；针对中低熟页岩油，要尽快形成一批有效、绿色、经济的页岩油勘探开发配套技术体系。

“推进页岩油勘探开发，还要尽快建立全国统一的地质条件、技术经济和环境影响‘三位一体’页岩油资源评价方法体系，分盆地、分级别、分类型评价全国陆相页岩油气资源潜力。”徐兴友同时建议，在我国大型含油气盆地外围矿业权空白区开展页岩油调查评价工作，力争发现一批油气资源接替基地，探索构建公益性与商业性油气工作新机制，有效服务我国油气资源增储上产。

针对煤系气资源勘探开发，张家强表示，下一步将开展全国煤系气资源潜力评价，在此基础上，优选大型含煤盆地，聚焦资源潜力大的中深层—深层煤系气，通过实施新一轮找矿突破战略行动，实现找大矿、找好矿，探索地质理论与高效勘查技术，建成一批勘查开采示范工程，从而引导和拉动全国煤系气勘查开发。

非常规油气资源的潜力无疑是巨大的，但其勘探开发难度也较大。开发利用非常规油气

资源，既是国家能源安全需要，也是基于我国油气资源禀赋的现实目标。

“推进非常规油气资源勘探开发，责任重大、使命光荣。”油气资源调查中心主任吴登定表示。下一步，油气资源调查中心将继续坚持“基础性、公益性、战略性”基本定位，加强基础地质调查和研究，大力开拓页岩油气和煤系气等战略接替资源领域，努力培育新的能源增长点、新的勘探方向、新的资源类型，与油气企业、科研院所、大专院校加强合作，实现优势互补，攻坚克难，为保障国家能源资源安全作出积极贡献。

## 石墨烯呈现创纪录高磁阻

科技日报 2023.4.13

据最新一期《自然》杂志上发表的论文，英国曼彻斯特大学研究人员报告了在环境条件下石墨烯中出现的创纪录的高磁阻。

在磁场下能强烈改变电阻率的材料会被广泛应用，例如每辆汽车和每台计算机都包含的微型磁传感器。

这种材料很稀有，在室温和实际可行的磁场中，大多数金属和半导体的电阻率只会变化零点几个百分点（通常不到百万分之一）。

为了观察到强烈的磁阻响应，研究人员通常将材料冷却到液氮温度，这样其内部的电子散射就会减少，并可以遵循回旋轨道。

曼彻斯特大学研究小组发现，在过去 20 年里已经过详细研究的石墨烯，表现出了非常强烈的响应，在标准永磁体（约 1000 高斯，或 1 特斯拉）的磁场中磁阻率达到了 100% 以上。在所有已知材料中，这是一个创纪录的磁阻。

谈到这一最新发现，该研究领导、2010 年诺贝尔物理学奖得主安德烈·盖姆教授表示：“像我这样从事石墨烯研究的人总是觉得，这个物理金矿早就应该耗尽了。但这些材料不断地表明我们错了。”

研究人员此次使用了高质量的石墨烯，并将这些石墨烯调整到其固有的原始状态，这就产生了一种快速移动的“狄拉克费米子”等离子体，尽管散射频繁，仍表现出惊人的高迁移率，这正是特大磁电阻的关键指标。

除了创纪录的磁阻外，研究人员还发现，在较高的温度下，中性石墨烯成为一种所谓的“奇异金属”，人们对“奇异金属”行为知之甚少，目前仍是全世界正在探索的谜团。

# 我国首次在 5 亿多年前页岩地层中钻获高产气藏

中国能源报 2023.4.17

中国石油西南油气田公司部署在四川内江的页岩气井——资 201 井日前测试获稳定日产气量 73.88 万立方米，这是全球首次在距今 5.4 亿年的寒武系古老页岩地层钻获具有商业开发价值的高产工业气流，初步估算该井可采储量超过 1.7 亿立方米，可满足 100 多万户家庭 1 年的用气需求。

据悉，本次寒武系页岩气勘探战略性突破，开辟了四川盆地页岩气规模增储上产新的阵地，标志着我国页岩气勘探开发由志留系一枝独秀到二叠系、寒武系百花齐放，进一步夯实了实现中国页岩革命的资源基础和发展信心，对推动川渝地区国家天然气（页岩气）千亿立方米级产能基地建设、拉动区域经济社会发展、保障我国能源安全具有战略性意义。

中国石油西南油气田公司 2009 年开始实施四川盆地寒武系页岩气勘探，但受地层时代老、埋藏深度大、构造演化期次多等复杂地质工程条件影响和制约，该层系页岩气商业性规模开发一直未获突破。为寻找页岩气规模增储上产新领域，该公司组织实施资 201 井，克服井深超 6600 米、地层温度高、地应力复杂等施工困难，优质高效完成该井。

中国石油西南油气田公司总经理何骁表示，通过实钻证实，资 201 井获高产的页岩层系储层厚度大、品质优、保存条件好，落实建产有利区面积超 3000 平方千米，页岩气资源量近 2 万亿立方米。资 201 井获高产商业性气流，标志着四川盆地寒武系页岩气即将进入规模效益开发新阶段，是继二叠系吴家坪组取得重大勘探发现之后，四川盆地获得的又一重大战略性突破。（刘文平郑马嘉）

# 我学者发现光驱动可编程胶体自组装新机制

科技日报 2023.4.18

近日从中国科学技术大学获悉，该校物理学院彭晨晖教授团队，利用光驱动偶氮苯分子的协同效应诱导液晶分子的集体运动及重新排列，同时引发向列相中向错线的时空演变，从而实现了胶体颗粒的集体传递和可重构自组装。研究成果日前发表于《美国科学院院刊》。

液晶是一类分子取向长程有序的各向异性材料，其在显示、感应、光子器件等领域有广泛应用。研究团队首先利用自搭建的装置，通过预设计的方式控制偶氮苯分子机器排列，从而控制液晶微结构自组装，并制备了可编程控制的向错线网络。在光驱动作用下，偶氮苯分子机器的协同作用引起衬底表面液晶微结构分子取向的变化，从而引发样品内部向错网络的

群体动力学形态变化。如果将胶体颗粒置于此远离平衡态的系统中，随着光驱动向错线网络的形变，胶体颗粒可以被灵活地捡起、运输和重新组装。不仅如此，胶体自组装的集体运输和重组还可以通过控制照射光的偏振方向，控制它们运输的方向和方式，比如平移、以顺时针方向或者逆时针方向旋转，从而实现了微米尺度胶体颗粒的可编程自组装。

研究过程中，研究团队还阐明了，预设计的拓扑缺陷如何控制胶体颗粒在向错线上的运动机制，此机制由液晶局部预设计的展开和弯曲形变的弹性特性来决定。因此，此光驱动可编程胶体自组装的物理机制在于，通过光照使纳米尺度的分子机器进行协同重组，利用分子机器与液晶分子的相互作用控制纳米尺度液晶分子取向的变化。由于液晶分子具有长程有序的特性，引发表面宏观尺度液晶分子取向的变化。此宏观变化进一步通过表面锚定驱动样品内部液晶微结构的变化，从而实现了宏观尺度的向错线网络和胶体自组装的重构。

研究人员表示，这项研究不但阐明了如何利用预设计的拓扑缺陷和远离平衡态的向错线网络控制可编程胶体自组装的新机制，同时也为设计智能复合材料开辟了新方向。

## 他们为天宫定制“供暖外衣”

中国科学报 2023.4.19

近日，中国空间站梦天舱航基柜空间斯特林热电转换装置按照方案顺利完成在轨测试和3次试验。其整机全程运行稳定，性能指标超出预期，热电转换效率（同等温比条件下）等综合技术指标达到国际先进水平。

“空间站中刚完成的斯特林热电转换试验非常成功，其中的加热器单元表现超出预期。”中国科学院上海硅酸盐研究所（以下简称上海硅酸盐所）副研究员、上海硅酸盐所空间材料与应用技术课题组副组长张明辉对《中国科学报》说，“这个结果让我们很激动，觉得前期的艰辛付出都值了。”

### 试验“天上”发电

斯特林热电转换技术是空间新能源关键技术之一，它采用闭式循环往复式斯特林发动机将热能转换为动能，再通过耦合线性交流发电机将动能转换为电能。作为航天器电源系统新技术，斯特林热电转换装置具有结构简单、效率高、质量轻、启动快、震动小及噪声低等优点，可将热能高效转换为电能，减少对传统太阳能的依赖，在未来载人登月及深空探测等空间任务中，具有广阔的应用前景。

我国空间站斯特林热电转换试验装置由航天科技集团五院510所抓总，上海硅酸盐所空

间材料与应用技术团队负责加热器单元研制。

“在斯特林热电转换装置中，加热器单元的效率是保证整机运行和性能指标的关键。”张明辉介绍说，“我们用斯特林热电转换装置做试验，看看能不能在‘天上’发电，并验证这套装置的可行性，测试其发电效率。”

“这是我国首次实现该技术的空间在轨验证。”空间站高温材料科学实验系统主任设计师、上海硅酸盐所空间材料与应用技术课题组组长刘学超说，“该加热器在空间站的顺利运行，将为我国空间高温加热技术提供新的技术选项，促进我国微重力材料科学研究的发展。”

目前，加热器单元利用电能产生热能，把气体加热膨胀，推动活塞运动做功发电。如果试验顺利，将来可以利用太阳能、核能或其他能源实现太空发电。

### 太空加热新挑战

“我们以前研制的加热器通常要把热量‘闷’在里面，而这个加热器要实现热量定向流动。”张明辉说，“斯特林热电转换装置在梦天舱航基柜中，因此要求体积非常小、重量非常轻，还要做得非常结实，能够承受火箭发射升空时的巨大冲击力。”

高效加热似乎不是什么尖端技术，但多项极端指标叠加起来，就变得复杂了。

为达到研制任务的技术指标，研究团队摒弃了传统加热设计理念，在发热、导热、保温材料选择和结构设计上花了不少工夫，通过设计精巧的高密度缠绕加热丝，大幅提高了加热效率。同时，他们提出层叠式隔热结构，有效降低了热量在径向和底部的传导，优化了隔热效果，保证了热量的定向流动，提高了热量利用效率。

“以往的加热炉芯是非金属（绝缘体），现在为了满足强度、热量流动性和密封性要求，其中很多部件要采用金属材料，包括炉膛、保温结构等。如何保证加热丝和炉膛等部件在高温下绝缘，保证其正常加热、准确测温就成了一个新问题。”张明辉说。

为此，研制团队设计了独特的多层耐高温绝缘套管，对加热丝、热电偶进行绝缘保护，有效改善了装置的高温绝缘性能。

### “高端定制”的“外衣”

梦天舱航基柜斯特林热电转换装置的加热器单元是为空间技术试验“高端定制”的，但没有现成配件、组件，也没有成熟技术可以参照。

“很多指标要进行关键技术攻关，很多设计理念、技术路线须先论证设计，做出来后再进行检验，看哪些设计能保留、哪些地方要改进。这些工作自己去做了才能把握其中的关键、保证它的效果。”张明辉说。

研制期间，实验室成了大作坊，这群“科研工匠”放下论文就拿起剪刀、锤子，从设计、

选材、加工、测试，到很多金属件的剪裁、倒角、挖孔、装配都亲力亲为。

由于加热器单元采用多层金属和石英纤维布结合的包裹结构，很多元件结构非常精细，有很长一段时间，研究人员都在“剪不锈钢”。

“那段时间我们小心翼翼，就像为婴儿裁剪衣服一样兴奋、紧张又全神贯注。”张明辉解释说，“用手工将不锈钢剪出精细的结构很困难，而且要保证完整性，我们要用很大劲去剪，还要非常小心地包裹起来。”

研制关键期正值冬季，冰冷尖锐的钢件经常划伤研究人员。那段时间，张明辉和同事手上的创可贴成了“标配”。

“斯特林热电转换装置的加热器与其他载荷的空间加热技术差别较大，功能要求也完全不同，基本上得重新做。同时，团队还负责牵头研制梦天舱的高温材料科学实验系统，一拨人马双线作战。”刘学超说，“我们团队发扬载人航天精神，从任务启动到产品交付，在不到一年时间里完成了关键技术攻关、验证产品研制、正样产品交付等工作，赶制出5套加热器单元（2套上天、2套做地面对比、1套进行验证），有力保障了空间斯特林热电转换装置任务的开展。”

## 超高能量吸收密度力学超材料制成

科技日报 2023.4.24

23日，从中国科学院近代物理研究所获悉，该所材料研究中心科研人员与重庆大学的合作者利用核径迹技术，制备出具有超高能量吸收密度的力学超材料。相关成果发表在《自然·通讯》上。

作为一类新兴的力学超材料，纳米晶格可以在更轻质的情况下实现超常的力学性质，有望在高性能材料领域带来变革性的应用。纳米梁晶格是其中最主要的研究对象，然而长期以来，梁直径小于100纳米的金属纳米晶格的制备很难突破。

科研人员基于兰州重离子加速器装置，利用核径迹技术，成功制备了梁直径仅为34纳米的金和铜准体心立方纳米梁晶格。该方法突破了已有纳米梁晶格力学超材料的尺寸极限，实现了梁直径和相对密度的可控可调。

实验结果表明，铜纳米梁晶格的能量吸收密度超越了已有纳米梁晶格，刷新了纳米梁晶格超材料的能量吸收阿什比图。此外，金和铜纳米梁晶格在密度不到块体材料一半的情况下，其屈服强度超过了其对应的块体材料。

该研究证明了金和铜准体心立方纳米梁晶格具有优异的能量吸收能力和抗压强度，加深了对纳米梁晶格力学性质的理解；同时实现了核径迹技术在纳米结构超材料研究中的应用，为探寻超高能量吸收密度的纳米梁晶格提供了新思路。

## 我国首个 10 万吨级陆相页岩油效益开发示范平台投产

中国能源报 2023.4.17

日前，大港油田页岩油首个效益开发先导试验平台——沧东凹陷 5 号平台投入生产。9 口页岩油井日生产能力稳定在 280 吨左右，整体形成 10 万吨年生产能力，标志着大港油田正式建成我国首个 10 万吨级陆相页岩油效益开发示范平台。

据了解，大港油田探区内页岩油资源丰富，早在 2013 年就开始陆相页岩油的探索。2016 年以来，该油田加速推进页岩油富集理论创新和配套技术一体化攻关。2018 年，沧东凹陷孔二段页岩油取得水平井开发突破，率先在渤海湾盆地启动陆相页岩油工业化开发，后续又接连在歧口凹陷沙一段、沙三段取得成功，实现黄骅坳陷三套主要页岩油层系的全面突破，开辟了渤海湾老油田重大资源接替新领域。

近年来，大港油田相继攻克断陷盆地页岩油富集层优选评价、压裂提产等关键技术难题，取得页岩油富集理论与评价技术的原创性突破。2021 年，该油田部署沧东凹陷 5 号平台开展页岩油效益开发先导试验，创建“平台长负责、市场化运作、数智化管控”的新型组织管理模式，实施“焖井置换+高压钻塞+控压生产”精益生产三步法，攻关形成前置二氧化碳增能改造提产关键技术，有力支撑先导试验井产量大幅提升的同时，实现碳埋存 1.3 万吨。（王睿）

## 纳米成膜加固井壁防砂技术试验成功

科技日报 2023.4.25

油田开发进入中后期，出砂问题日趋复杂，防砂难度随之增大。4 月 19 日，记者从中国石油辽河油田获悉，辽河油田曙光采油厂“曙 3-05-005 井”纳米成膜加固井壁防砂技术试验获得成功，该井日产原油由 1.7 吨提高到 2.3 吨，以低成本方式实现了油田开采时出现的泥质细粉砂的有效防治。

油井生产中后期，往往会出现大量长井段、小井眼、套变井等复杂井况的出砂井。化学防砂技术是针对油井采油过程中，油层采出油液的同时随着油层出砂，从而造成生产设备磨

损、砂卡等问题。

“通过向油层注入胶黏性材料，将油层砂胶结起来，提高油层砂粒与砂粒之间的胶结强度，从而实现防止油层出砂对生产的不利影响。”辽河油田钻采工艺研究院（以下简称钻采院）油井防砂技术中心技术人员介绍，该技术因其施工工艺简单、防砂后不留管柱、防砂措施成本低等优点，在解决细粉砂以及复杂井况出砂井方面具有独特优势，但也存在油田开采时对储层伤害大、影响产量和防砂有效期短等问题。

受国外前沿防砂技术启发，通过前期论证，辽河油田钻采工艺研究院于 2022 年初成立项目攻关小组，并与中国科学院纳米研究所、中国石油大学等开展技术交流。在项目负责人匡韶华的带领下，科研人员经过 300 余组的评价实验，自主研发出水基纳米成膜固砂剂，形成我国首创的纳米成膜加工井壁防砂技术。

实验表明，采用特殊技术手段赋予纳米粒子胶结固砂功能，固砂剂固结强度达到 8—12 兆帕（MPa），细粉砂固结渗透率达到 1 毫达西（ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）以上，关键性能指标明显优于国内外现有化学固砂剂产品，大幅提高了固砂强度、防止出砂的同时，最大限度地保留了油层出油能力。

据介绍，“曙 3-05-005 井”井况非常复杂，井眼尺寸小、油层跨度大、层多、层细，并伴随大量细粉砂产出，防砂难度非常大。钻采院油井防砂技术中心与曙光采油厂工艺研究所紧密对接，于今年 2 月 28 日在该井开展纳米成膜加固井壁防砂技术试验。截至目前，该井累计产油 67 吨，日产液提高 28.1%，日产油提高 35%，表明纳米防砂技术对油田储层“零伤害”并达到“防砂增产”的效果，打破了“化学防砂影响油井产量”的固有观念。

## 深海“地动仪”实现产业化制造，大幅提升深海深层油气藏 勘探精度

中国自然资源报 2023.4.26

中国海油 4 月 20 日发布消息，国内首条海底地震勘探节点采集装备生产线在天津投产，标志着我国具有自主知识产权的海底地震勘探节点采集装备实现产业化制造，对于大幅提升深海深层油气藏勘探精度和成熟油田海底油藏的动态监测水平具有重要意义。

海底地震勘探节点采集装备如同安置在深海的“地动仪”，能够接收到万米深地层传回的比蚊子声还小 150 倍的地震波，并据此描绘高清油藏数据信息，是深海油气勘探开发的关键核心装备。

“产业化制造后，我们在单位面积上获取的数据量比常规勘探装备增加 3 倍，信噪比提升 30%，能够大幅提高复杂地质构造及油气藏的成像精度。”中国海油中海油服物探事业部技术负责人阮福明说。

海底地震勘探是近年来快速兴起的海洋油气勘探技术，在油藏监测领域应用效果显著。作为海洋油气勘探领域的重要装备，我国的海底地震勘探节点采集装备长期依靠进口，不仅价格昂贵、且在装备技术性能上受到限制，超过 300 米水深节点装备对我国只租不售，严重制约了我国海洋油气勘探开发的进程。

为破解这一难题，中国海油集中力量攻克一批以深水油气田开发为重点的关键核心技术装备，加快推进海底节点的自主研发和产业化能力建设。历时三年的技术攻关，科研团队相继攻克了超低功耗电路和超低频检波器等多项关键核心技术，研制出适用于浅水到深水再到 1500 米以上超深水不同水深的海底“地动仪”，能够满足我国主要海域未来的海底地震勘探需求，进一步健全自主可控的海洋油气勘探装备体系。

中国海油中海油服物探事业部总经理周滨表示：“应用节点采集装备实施海底地震勘探后，获取的高品质地震资料相当于给海底做了一次超强核磁检测，让我们的地质学家对海底油藏结构看得更加清晰，极大提升了我国对海洋油气藏勘探能力。”

据了解，首批产业化制造的 6000 套产品将于今年 6 月在我国海域全面投放，投用后将大幅缩短海上油气田的开发周期，降低勘探开发成本。（海油）

## 我国首个全自主可控大型抽水蓄能机组数智调速系统通过 鉴定

中国能源报 2023.4.24

4 月 18 日上午，由中国电器工业协会组织的自主可控大型抽水蓄能机组数智调速系统鉴定会在广州抽水蓄能电站召开，对南网储能公司研发的我国首个全自主可控大型抽水蓄能机组数智调速系统“XS-1000G”进行专业鉴定。经鉴定，该产品整体达到国际先进水平，其中，基于云边端协同的数智调速系统状态智能分析与故障预警、多接法器同步协调控制技术等达到国际领先水平。这标志着我国在抽水蓄能机组关键控制保护技术全面自主可控上取得实质性突破。

本次鉴定会评审专家委员会由中国工程院院士张勇传领衔，由来自中国电力科学研究院、中国电建集团华东勘测设计研究院、中国长江电力等行业内相关建设、设计、制造单位和武

汉大学、华中科技大学等国内知名高校的众多权威专家组成。会议由中国电器工业协会主持，南网储能检修试验分公司、南网储能公司生产技术部、创新与数字化部、长江三峡能事达电气股份有限公司等单位相关领导及项目团队成员等参会。

鉴定委员会在听取汇报、审查资料后，经过现场严密质询和慎重讨论研究，一致同意鉴定结果。通过此次会议，与会专家对 XS-1000G 型抽水蓄能机组调速系统有了更深层了解，并有针对性地提出了很多宝贵、富有建设性的意见和建议。南网储能检修试验分公司党委书记郭小涛表示：“将以此成果鉴定会为起点，在自主可控技术攻关及应用中赓续前行，继续深入推进自主可控大型抽水蓄能机组数智调速系统的迭代研发及工程应用。”

XS-1000G 型抽水蓄能机组数智调速系统，是南网储能检修试验分公司牵头组建技术攻关团队历时两年多研发，针对工控系统关键技术，先行先试研究基于全国首个国产芯片数字式控制器及状态智能分析的抽水蓄能调速控制系统。作为南网储能自主成果，XS-1000G 系统采用多项创新技术，实现“芯片级”自主可控，具有算法高效、功能完备、性能优异的特点，控制系统实现完全自主可控，已成功应用于广蓄电站 7 号机组。截至 4 月中旬，XS-1000G 型调速系统已连续运行逾 500 小时，工况启动次数达 150 余次，性能稳定可靠。

该产品的成功研制及应用，将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。（马宗鹏于亚雄）

## 生态环境部等五部门联合印发《重点流域水生态环境保护规划》

中国环境报 2023.4.24

为深入贯彻落实党的二十大精神，落实水污染防治法、长江保护法、黄河保护法等有关规定，经国务院同意，近日，生态环境部联合发展改革委、财政部、水利部、林草局等部门印发了《重点流域水生态环境保护规划》(以下简称《规划》)。

制定实施《规划》是贯彻落实党中央、国务院关于水生态环境保护决策部署的重要举措，是统筹水资源、水环境、水生态治理，推动重要江河湖库生态保护治理的具体行动。《规划》以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的二十大精神，深入贯彻习近平生态文明思想，按照党中央、国务院决策部署，坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，坚持精准、科学、依法治污，统筹水资源、水环境、水生态治理，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，以改善水生态环境质量为核心，持续深入打好碧水保卫战，大力推进美丽

河湖保护与建设，为 2035 年基本实现美丽中国建设目标奠定良好基础。

《规划》提出到 2025 年，主要水污染物排放总量持续减少，水生态环境持续改善，在面源污染防治、水生态恢复等方面取得突破，水生态环境保护体系更加完善，水资源、水环境、水生态等要素系统治理、统筹推进格局基本形成。展望 2035 年，水生态环境根本好转，生态系统实现良性循环，美丽中国水生态环境目标基本实现。

《规划》分为四个部分，共包括十二章。第一至三章为第一部分，主要是概述水生态环境保护主要进展、存在问题和战略机遇，明确规划的指导思想、工作原则和主要目标，明确构建水生态环境保护新格局等具体要求。第四至六章为第二部分，主要是明确长江、黄河等七大流域和三大片区的水生态环境保护总体布局，通过重要水体落实落细保护要点。第七至十一章为第三部分，从为人民群众提供良好生态产品、巩固深化水环境治理、积极推动水生态保护、着力保障河湖基本生态用水、有效防范水环境风险等五个方面明确规划的重点任务。第十二章为第四部分，主要是从组织实施、法规标准、市场作用、科技支撑、监督管理、全民行动等六个方面明确规划实施保障措施。

为确保《规划》各项任务措施落地见效，生态环境部会同有关部门组织制定了《规划》重点任务措施清单，指导督促各地抓好落实。同时，将《规划》实施情况纳入全国水生态环境形势分析，通过分析预警、调度通报、独立调查、跟踪督办相结合的方式，压实相关方面主体责任，推动水生态环境质量持续改善。