

海上风电现代产业链联盟
BUILDING MODERN OFFSHORE WIND
INDUSTRIAL ECOSYSTEM

海风链动



04 / 汇聚联盟力量
20MW海上风电机组并网发电

10 / 打造世界级
柔性直流“深蓝之心”

12 / 我国水深最深海上风电项目
首批并网发电



卷首语

海风链动 共赴深蓝

党的二十大报告明确提出：“积极稳妥推进碳达峰碳中和，加快规划建设新型能源体系。”习近平总书记多次强调：“要推动能源革命，大力发展清洁能源，把能源的饭碗牢牢端在自己手里。”在这一战略指引下，中国海上风电正加速迈向深远海、规模化、智能化高质量发展的关键阶段。深远海已不仅是地理坐标，更成为国家能源安全与绿色转型的前沿阵地。技术迭代加速、环境挑战加剧、系统韧性要求持续提升——这不仅是一场产业变革，更是一次面向未来的系统性重构。

在这奔赴深蓝的新篇章里，海上风电现代产业链联盟应运而生。它不是简单的“聚首”，而是一次从“单兵突进”到“链式协同”的范式跃迁，是产业生态迈向成熟的关键一步。基于对行业前景的共同认知与对协同价值的坚定认同，联盟迅速凝聚、高效起步。这份凝聚的合力，正是我们共迎挑战、共抓机遇、共塑未来的最坚实根基。

我们深知，真正的突破，不在某一台机组的功率曲线，而在全链条的协同效率；不在某个环节的领先，而在整体系统的韧性与自洽。2026年，联盟将推动从“建起来”到“转起来”的实质性跨越——在共同制定年度目标、健全协作机制、细化任务路径的基础上，加速构建高效的信息共享平台，让数据贯通流动、知识充分沉淀；依托创新科研机制，聚焦“卡脖子”难题，开展系统性联合攻关；同步搭建灵活的资源对接枢纽，推动资本、人才、场景精准匹配，实现从“有合作”到“深度融合”“实落地”“见成效”的跃迁，真正打通研发、工程、应用的“最后一公里”，让协同创新的成果在产业链上“长出来”、在工程中“用起来”、在市场中“强起来”。

独行快，众行远。当产业链的每一环因协同而更有力，当创新链的每一段因共享而更活跃，中国海上风电，终将在深蓝之上，立起属于自己的技术灯塔——这不仅是对国家战略的有力支撑，更是对“双碳”伟业的坚定回应，是对人类绿色未来的一次庄严承诺。

海上风电现代产业链联盟

2026年2月

目录 CONTENTS

01 子链建设·五大子链专版 SIDECHAIN DEVELOPMENT	
风电机组研发与制造	04
海上并网与输电系统	10
风电场规划设计与建安	12
智慧运维	15
融合发展	17
02 成员风采·联盟动态 MEMBER PERSPECTIVES	
核心成员单位最新动态集锦	20
03 行业动向·行业观察 INDUSTRY UPDATES	
政策解读、发展展望、发现行业问题	28
04 科技动态·技术前沿 TECH DEVELOPMENTS	
联合实验室成果与标准引领	32
05 海风匠心·链上故事 OCEANIC MASTERY	
追风人的坚守	36
06 数据呈现·产业洞察 DATA PRESENTATION	
产业发展数据一览	38
07 美丽海洋·可持续发展 OCEAN'S BEAUTY	
碧海唱响生态牧歌	42

编辑出版团队 & 联盟单位名录

编辑出版团队

主办单位	海上风电现代产业链联盟
编委会主任 & 副主任	王益群（三峡集团）、吕鹏远（三峡能源）、杨定华（三峡科研院）、姜娟（上海院）、蔡绍宽（专委会）
编委会委员	于晨光（金风科技）、何光勇（东方风电）、钟虎平（成飞新材）、王金成（洛阳轴承）、孙义忠（南高齿）、张金峰（鉴衡）、冒洪生（中车株洲所）、徐龙泽（中电普瑞）、陈松林（南瑞继保）、陈斌（特变电工）、丁松（宁波东方）、罗金平（华东院）、刘东华（广东院）、汪涛（中交三航局）、肖鹏飞（中铁大桥局）、赵勇（广州打捞局）、郑南（中国船级社）、刘昌鹏（中交海峰）、黄荣（海电运维）、陶泽文（山东未来）、王坤林（广州能源所）、宁德志（大连理工）、高喜峰（天津理工）、王冀（国家海洋技术中心）
编辑部主任 & 副主任	汪聿为（三峡能源）、秦明（三峡科研院）、潘智轩（上海院）、雒德宏（三峡能源）、周简（三峡能源）、张继立（三峡能源）、易侃（三峡科研院）、乐治济（上海院）
栏目编辑	房佳明（三峡能源）、刘若曦（三峡能源）、祝文龙、戴维冬（三峡科研院）、朱涛（上海院）
通讯员网络	高俊景（金风科技）、陈思远（东方风电）、罗莎莎（成飞新材）、王俊明（洛阳轴承）、杨友根（南高齿）、何杰英（鉴衡）、张恩舒（中车株洲所）、陈鹏（中电普瑞）、郑传健（南瑞继保）、瞿子涵（特变电工）、刘凤伟（宁波东方）、陈晴（华东院）、徐龙博（广东院）、邹星（中交三航局）、孙国光（中铁大桥局）、张文耀（广州打捞局）、杜建港（中国船级社）、王其标（中交海峰）、赵明睿（海电运维）、王承达（山东未来）、姜家强（广州能源所）、王荣泉（大连理工）、刘卓（天津理工）、王世昂（国家海洋技术中心）

海上风电现代产业链联盟单位名录

- 牵头建设单位**
1. 中国长江三峡集团有限公司
 2. 中国三峡新能源（集团）股份有限公司
 3. 中国长江三峡集团有限公司科学技术研究院
 4. 上海勘测设计研究院有限公司
- 风电机组研发与制造子链**
5. 金风科技股份有限公司
 6. 东方电气风电股份有限公司
 7. 重庆成飞新材料股份公司
 8. 洛阳轴承集团股份有限公司
 9. 南京高速齿轮制造有限公司
 10. 北京鉴衡认证中心有限公司
- 海上并网与输电系统子链**
11. 中车株洲电力机车研究所有限公司
 12. 中电普瑞科技有限公司
 13. 南京南瑞继保电气有限公司
 14. 特变电工股份有限公司
 15. 宁波东方电缆股份有限公司
- 风电场规划设计与建安子链**
16. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
 17. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司
 18. 中交第三航务工程局有限公司
 19. 中铁大桥局集团有限公司
 20. 交通运输部广州打捞局
 21. 中国船级社
- 海上风电智慧运维子链**
22. 中交海峰风电发展股份有限公司
 23. 福建海电运维科技股份有限公司
 24. 山东未来机器人有限公司
- 海上风电融合发展子链**
25. 中国科学院广州能源研究所
 26. 大连理工大学海岸与海洋工程全国重点实验室
 27. 天津理工大学
 28. 国家海洋技术中心
- 联盟专家委员会**
29. 中国海洋工程咨询协会海上风电分会



子链建设

SIDCHAIN DEVELOPMENT



金风科技 三峡科研院

深远海风能资源富集，但项目开发面临更大的挑战，水深每增加 20 米，造价增加 15-20%，离岸距离每增加 30 公里，工程及运维效率下降 30%。金风科技基于全球超 1000 台海上风电装机的经验，打造 20MW 机组，为破解深远海风电可靠性、经济性难题探索可行路径。机组依托自研 GTSim 仿真平台，完成 4000+ 项工况仿真；协同产业链企业，在大丰与福清两地 25MW+ 试验平台及实验室完成 2000+ 项测试，从而筑牢机组可靠基线。20MW 机组仿真测试，尤其关注抗台风能力检验，在 IEC 抗台风标准基础上，额外增加 18 个台风工况仿真，实验数据显示，20MW 机组有能力承受瞬时 80m/s 风速、相当于 17 级以上台风的极端风力冲击。

20MW 机组设计不仅关注发电效能与可靠性，同时针对全球现有海洋工程能力，对产品规格、吊装工艺和工装进行精准适配，相比上一代海上机组，该款产品吊装效率可提升 15%。该款产品应用金风科技直流耦合构网风储技术，具备成熟的“孤网运行”和“黑启动”能力，并通过储能系统实现稳压稳网，可适应最低 1.0 短路比的极端弱电网环境，为未来大规模、连片化深远海场景下的电网安全可靠运行提供坚实支撑。

相比于采用 16MW 机组的海上风电场，20MW 机组可帮助风电场减少 25% 的机位点，节约用海面积，摊薄开发成本，为深远海风电的规模化发展打通经济性堵点。20MW 机组应用的 GW147 叶片采用高模量碳纤维材料，气动效率显著提高，结合智能控制系统，可提升发电效率 5%，项目度电价值成本下降 5-8%。该款叶片还是全球首款一次性通过全部型式测试的高性能超长柔性叶片，其通过的高达 700 万雷诺数的翼型风洞测试，相当于模拟出小型通用飞机在空中飞行时所面临的真实气动环境，叶片气动效率得到充分保障。

01

风电机组研发与制造

汇聚联盟力量 20MW 海上风电机组并网发电

大功率机组进展、新材料应用、整机集成创新等

2026 年 2 月 5 日，三峡集团联合金风科技、中车株洲所、洛轴 LYC、南高齿 NGC 等研发的 20MW 海上风电机组（下称“20MW 机组”）在福建海域成功并网发电，该机组入选国家能源局首台（套）重大技术装备名单，实现关键部件 100% 国产化，应用自研 147 米超长柔性叶片，叶轮直径达 300 米，扫风面积超 7 万平方米，相当于 10 个标准足球场，刷新全球实际海洋环境中已吊装机组单机容量最大、叶轮直径最大纪录，满功率状态下每小时可发电 2 万度，单机年发电量预计将超 8000 万千瓦时，可满足约 4.4 万户家庭 1 年的用电需求。



中铁大桥局 三峡上海院

此次吊装的 20 兆瓦海上风电机组属于国家重点研发计划“可再生能源技术”重点专项，并入选国家能源局第五批能源领域首台（套）重大技术装备名单，在国家能源局、福建省发展和改革委员会的指导支持下，由三峡研究院与金风科技联合设计建造和示范应用，三峡上海院负责样机基础设计与总承包管理工作，中铁大桥局负责施工吊装。此次吊装，是中铁大桥局继 2023 年在福建平潭海域完成全球首台 16 兆瓦海上风电机组任务后，再次实现的一次海上风电超大机组施工的跨越式突破。

20 兆瓦海上风电机组实现了全产业链自主可控与关键部件 100% 国产化，并在三大技术领域实现创新突破——在轻量化设计方面，整机（含机舱、轮毂、叶片）单位兆瓦重量小于 40 吨，较行业平均水平降低 20% 以上，有效降低了吊装施工难度与基础建造成本；在智能监控系统方面，通过集成激光雷达与叶根载荷传感器，构建了多维感知安全预警体系，有力保障了机组在海上无人值守场景下的自主安全运行；在高效气动性能方面，机组采用自主研发的翼型叶片，风能利用系数达 0.49，捕风与发电效率显著提升。



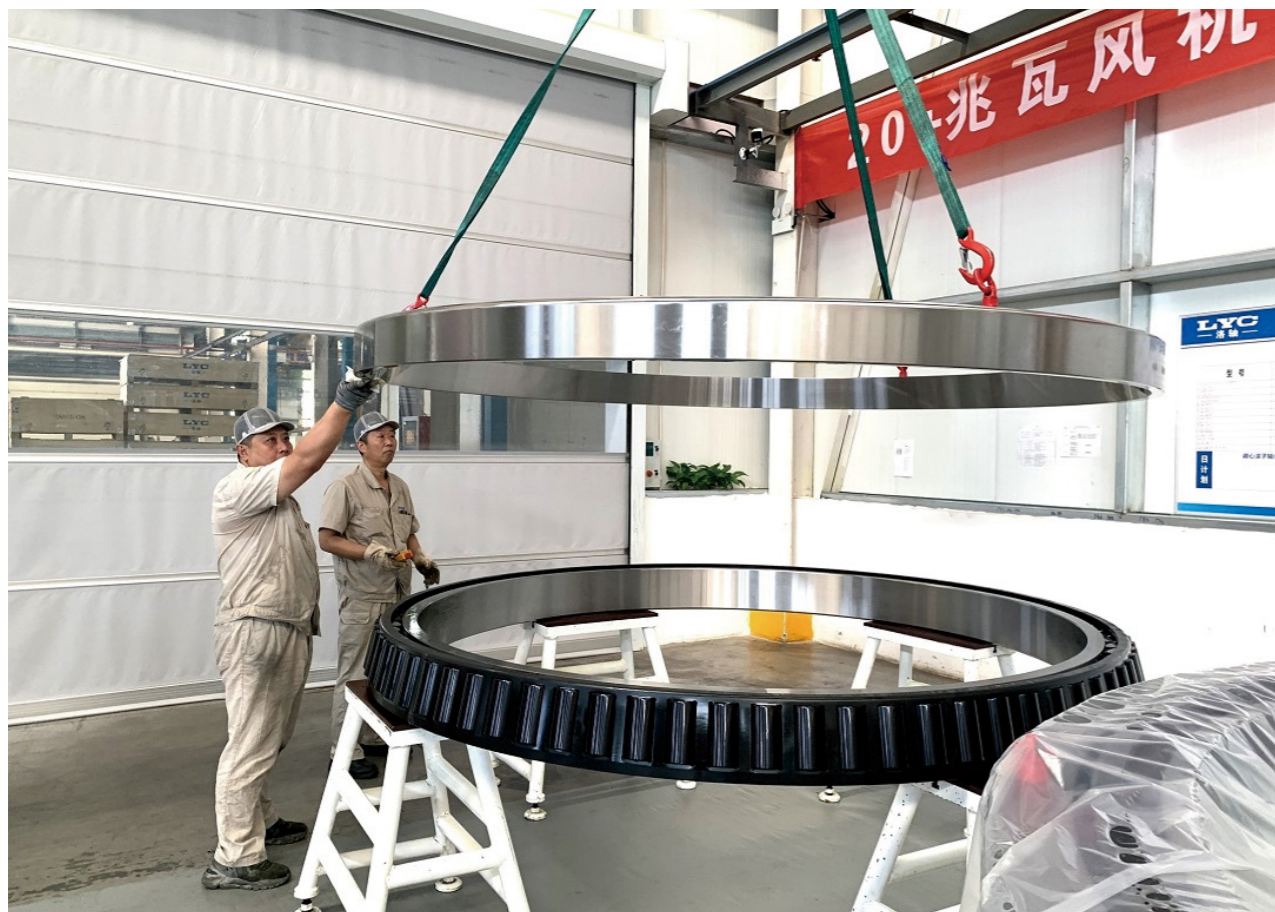
中车电机

中车株洲电机公司成功为这一里程碑式机组提供了强大的“心脏”——21MW 中速永磁风力发电机。项目前期，团队前瞻排查试制全流程风险、制定周密预案，保障产品从核心加工到整体装配的精密可靠；遇突发技术挑战，迅速集结阳江、大丰两大基地技术力量一线攻坚，同步联动客户，邀请其参与发电机关键工艺制造节点见证。全员聚力破局，实现产品高质量如期交付，以实干践行“响应迅速、技术扎实、服务周全、担当有力”的合作承诺，为中国风电高端装备自主化提供坚实供应链支撑。



洛轴

机组使用了洛轴 LYC 打造的我国海上风机领域全新结构的长寿命高可靠性 TRB 主轴承，不仅填补了国内 20+MW 级风电主轴承国产化空白，更为我国海上风电装备自主可控提供关键支撑。作为海上风电领域全新结构的长寿命、高可靠性“心脏”级部件，该轴承专为 20+MW 级超大型风机平台量身打造，凭借创新 TRB 结构设计，实现三大突破：适配性上，可灵活匹配国内外 20MW 以上风电机组半直驱等主流机型，全面覆盖渤海、黄海、东海、南海等各类海上风区机型；性能上，承载能力、抗疲劳寿命与耐海洋腐蚀性能较传统产品大幅提升，可从容应对海上高盐雾、强阵风等极端环境，保障风机长期稳定运行；自主性上，攻克了轴承材料、精密加工、热处理等多项“卡脖子”技术难题，实现全流程自主化研发，彻底扭转我国大功率海上风机主轴承依赖进口的被动局面。



南高齿

南高齿专为超大型海上风电机组精心研发了 20MW 级全集成中速传动链齿轮箱。此款齿轮箱亦是全球风电行业功率最大的滑动轴承齿轮箱，其功率范围处于 20 至 22MW 之间，扭矩峰值超过 31000kNm，传动速比介于 70 至 80，能够与中速发电机实现完美适配。

该齿轮箱采用全集成刚性连接设计，融合多行星均载技术与滑动轴承技术，实现了轻量化与高效能的理想平衡。其扭矩密度达在海上风电齿轮箱行业处于领先地位；传动效率更是突破 98.5%，测点振动速度最大值为 1.4 mm/s，噪声最大值为 100 dB(A)，为行业树立了新的标准。通过超紧凑集成结构、可靠性设计以及模块化可维护性设计，既保障了设备运行的稳定可靠，又极大地便利了海上运维作业，切实降低了运维成本。鉴于上述卓越性能，该齿轮箱荣获了行业国际知名媒体 WIND POWER MONTHLY 2024 年度“最佳传动链金奖”。





02

海上并网与输电系统

打造世界级柔性直流“深蓝之心”

柔性直流技术、升压站智能化、海缆国产化等

随着海上风电加速向深远海发展，柔性直流输电技术因适配远距离大容量传输成为核心支撑，2025年柔直渗透率已达20%，预计2030年将突破50%，对应柔直换流阀市场规模从十亿元级跃升至40亿元以上。

由三峡集团投资建设的三峡阳江青洲五、六、七期海上风电项目装机300万千瓦。与同期建设项目对比，该项目创造了六项“世界之最”：世界最大输送容量海上风电项目，世界最高电压等级海上风电柔性直流送出项目，世界首个集约化海上风电柔性直流送出项目，世界首个交直流混合送出海上风电项目，世界首个±500kV直流海缆应用项目，世界最大规模海上换流站。

2025年，青洲五七期海上风电场海缆集中送出工程完成直流控制保护系统功能及性能(FPT/DPT)试验、海上换流站上部组块钢结构搭载封顶。青洲五七工程是首个接入南方电网的海上风电直流送出工程，工程计划2026年投产，每年可为用电负荷中心输送77亿千瓦时绿电，相当于每年减少二氧化碳排放约634.48万吨，对于未来深远海大规模海上风电开发具有重要示范意义。

宁波东方电缆股份有限公司在青洲五、七期项目中，首创了±500千伏交联聚乙烯绝缘柔性直流海缆系统，成功实现了2吉瓦海上风电的远距离、大容量集中送出。与交流输电方案相比，柔性直流海缆在长距离输电中具备显著技术优势：有效降低传输损耗，运行发热减少，有助于延长电缆使用寿命，从而大幅减少运维检修成本。该技术不仅能够显著降低全生命周期投资与运行损耗，也具备良好的环境效益，尤其适用于深远海风电等长距离、大容量电力输送场景，为海上风电规模化开发提供了高效可靠的技术支撑。

直流耗能装置作为深远海柔直输电实现故障穿越的核心设备，以超高响应速度保障系统稳定安全运行，有效降低设备过电压应力，不仅通过差异化设计筑牢安

全防线，更推动我国在柔直换流阀、海缆等核心设备领域实现国产化突破，为全球海风输电提供了可靠的“中国方案”。

中电普瑞直流耗能装置融合电力电子、智能控制、高效散热等多领域前沿技术，采用模块化设计，具备快速响应、自适应调节、高效消能三大核心功能。该装置可在毫秒级时间内响应电网故障，通过精准控制实现故障能量的快速吸收与消散，有效抑制过电压、过电流等异常工况，保障电网稳定运行。突破性首创混合式拓扑架构，巧妙融合集中式与分布式拓扑的优势，攻克传统方案的技术瓶颈。相较于集中式拓扑，该架构通过优化电路控制方式，减少电抗器配置，缩减装置占地面积，有效降低空间占用成本；对比分布式拓扑，其显著降低系统运行发热，仅自然冷却即可满足应用需求，彻底摒弃复杂水冷系统，大幅简化系统架构与阀厅设计，设备维护难度降低超30%。

此外，针对海上风电柔性直流输电日益迫切的降本增效需求，南瑞继保成功研发出新一代基于高参数功率半导体器件的海上柔直换流阀成套装备。该装备在核心性能上实现显著突破，其损耗、占地及整体成本较常规技术均降低20%以上。





03

风电场规划设计与建安

我国水深最深海上风电项目 首批并网发电

地质勘察、施工装备、模块化建造等

华东院全过程勘测设计的我国水深最深海上风电项目华能山东半岛北 L 场址海上风电项目实现首批并网发电, 标志着我国商运海上风电在深远海领域实现新突破。

华东院承担山东半岛北 L 场址海上风电项目从可研到技施全过程的勘察设计任务, 项目位于山东半岛北部海域, 场区中心离岸距离约 70 公里, 水深介于 51 至 53 米之间, 是国内已建和在建海上风电项目中水深最深、地质构造最为复杂的项目, 也是国内首个离岸距离和水深“双 50+”的海上风电项目, 对我国深远海海上风电开发建设, 尤其是复杂海域、大规模风电场建设, 具有重要示范意义。

项目总装机容量 504 兆瓦, 安装 42 台单机容量 12 兆瓦的风力发电机组, 是山东省单机容量最大的海上风电项目。配套建设 1 座 220 千伏海上升压站、1 座

陆上集控中心、220 千伏海底电缆输电线路及 500 千伏送出线路。

“华东院 308 海上综合勘探平台”承担该项目高精度海洋勘测任务, 历时 56 天完成风电场区 65 个勘探孔和 22 个静探孔, 累计钻孔深达 7457 米, 为工程复杂海况下的勘测提供重要装备和技术支持。同时, 华东院发挥在海上风电领域卓越领先的技术优势, 通过优化 220kV 海上升压站上部组块设计, 实现总重量降低 10% 以上, 刷新国内同类型设备最轻纪录; 依托风机载荷迭代与一体化设计, 创下同等水深导管架基础单位千瓦用钢量最低纪录, 攻克深水高荷载难题, 实现平价时代下的降本增效。项目建成投产后, 年发电量约 17 亿千瓦时, 可满足约 50 万户家庭全年用电需求, 同时每年可节约标煤约 50 万吨, 减排二氧化碳 135 万吨。

风电场规划设计与建安

我国离岸距离最远海上风电项目 实现全容量并网

地质勘察、施工装备、模块化建造等

2025 年 12 月 15 日, 我国离岸距离最远海上风电项目——三峡江苏大丰 800 兆瓦海上风电项目实现全容量并网, 标志着我国海上风电向深远海迈进取得了又一重大突破。

三峡江苏大丰 800 兆瓦海上风电项目由三峡集团投资建设, 是江苏省首批海上风电平价上网示范项目之一。项目位于盐城市大丰区东北方向海域, 由四个场址组成, 共安装 98 台风力发电机组, 总装机容量 800 兆瓦, 配套建设 2 座 20 万千瓦、1 座 40 万千瓦海上升压站和一座海上救援平台。项目 H8-1 号场址中心点离岸距离 80 千米, 最远点离岸距离 85.5 千米, 刷新了我国海上风电项目离岸距离的纪录。

项目自主研发建成国内首个搭载气象雷达的海上升压站, 通过海洋气象精细化监测系统, 精准捕捉风速、风向等关键气象数据, 为风机优化调度、设备安全运维提供实时支撑, 其与风电场运行控制系统的深度协同, 将提升风电场发电效率与运行稳定性, 为我国海上风电集群、海洋渔业及海上航运气象灾害早期预警提供示范。

项目投运了一台 13.6 兆瓦风电机组, 刷新了江苏海域海上风机单机容量纪录, 机组轮毂中心高度 142 米, 单支叶片长 123 米, 叶轮直径 252 米, 叶轮扫风面积约 5 万平方米, 相当于 7 个标准足球场的面积。机组每转一圈可发出清洁电能约 29 千瓦时, 每年可输出清洁电能超 4650 万千瓦时, 为江苏区域绿色低碳高质量发展再添新动力。

项目建设过程中, 三峡集团联合国内海缆厂商完成 35 千伏国产绝缘材料海缆的制作、敷设与运行, 验证了国产海缆材料在深远海复杂工况下的可靠性, 为我国海上风电高端装备升级与技术迭代作出贡献。





风电场规划设计与建安

广州打捞局 5000 吨自航起重工程船“华兆龙”交付使用

地质勘察、施工装备、模块化建造等

2025 年，交通运输部广州打捞局 5000 吨自航起重工程船“华兆龙”在上海振华重工南通基地交付使用。“华兆龙”的正式入列，将进一步优化广州打捞局船舶结构，对提升大吨位沉船整体打捞能力，维护海上运输通道安全，助力交通强国、海洋强国建设，实现国家“双碳”目标具有重要意义。

“华兆龙”为钢质全焊接自航全回转起重工程船，船长 195m，型宽 49.8m，型深 16m，设计吃水 9m，设计航速 10 节，可在无限航区航行。船艏设置一台 5000 吨大型起重机，配备 8 点锚泊定位系统，能够在水深小于 100 米的规定海况下进行锚泊定位起重作业，同时具有 DP2 动力定位功能，作业时可根据作业需要选择动力定位或锚泊定位。该船舶设计先进，机动性强，综合指标达到世界一流水平，主要用于海上抢险打捞和应急抢险救助、风电桩基础施工（包含导管架）、升压站及大型海上钢结构安装及其他海洋工程。

04 AI

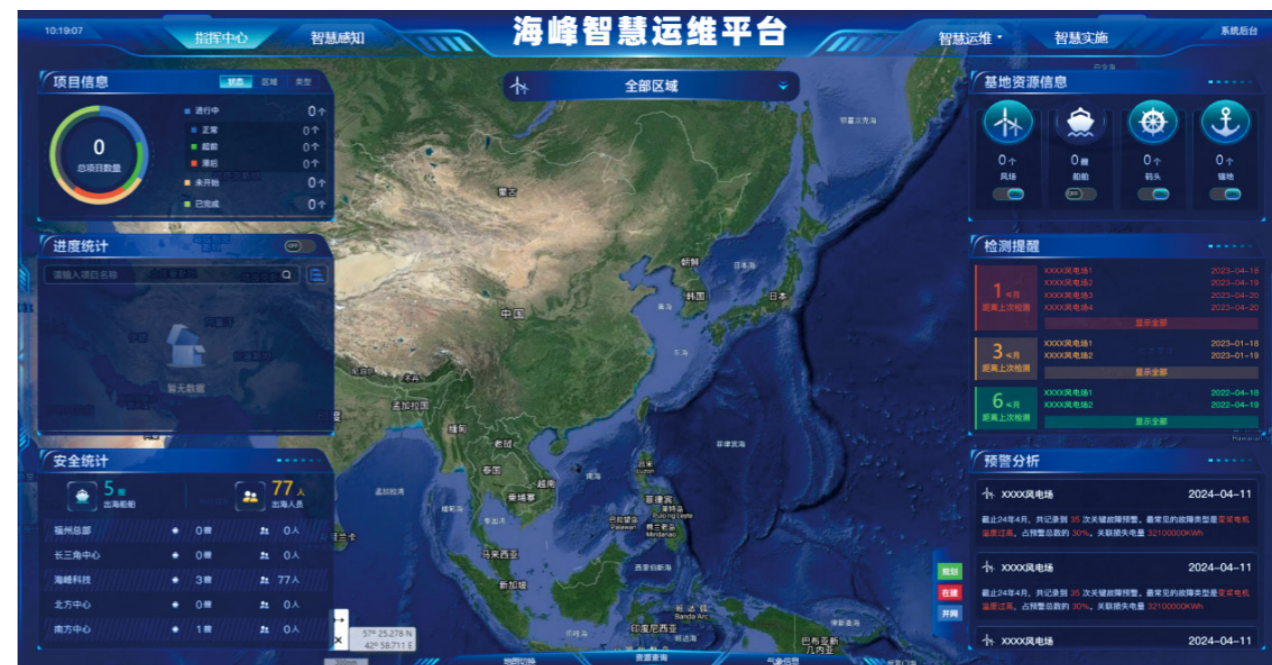
智慧运维

破解海上运维难题！ 中交海峰以数字孪生智慧系统与高端装备， 推动运维走向“高效、低碳、智能”

数字孪生、无人机巡检、AI 故障预测等

在海上风电运维领域，存在海上运维风险高、设备故障率高、运维管理弱、抗风险能力低等特点，因此构建数字化智慧运维系统是行业发展的必然趋势。中交海峰采用数字化、智慧化的手段，基于数字孪生技术，对物理风场进行全要素、全过程的数字化映射与模拟，以智慧运维决策为核心，以船舶服务为基础，以专项技术服务为支撑，通过数字化串联运维业务，打造了风场数据实时感知、智慧预警、智能诊断决策、运维策略优化、实施高效管理为一体的智慧运维系统。

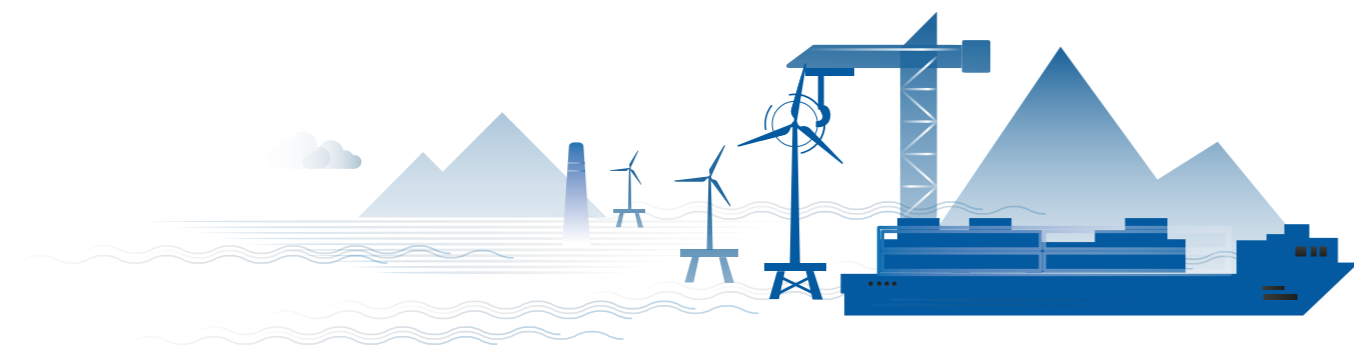
通过智能决策安排，可提前实施主动运维，降低故障率，提高设备的安全性、支撑结构可靠性，通过区域资源共享统筹，在有限的作业窗口期内，实现运维资源的充分利用，提高出海运维效率，从而提高风电场的工作效率，减少运维人员、降低运维成本、保障和提升海上风电场整体可利用效率。项目成果达到了国际先进水平，研究过程中已授权 2 项发明专利，5 项软件著作权，获 2025 年中国信息协会数据要素应用创新大赛三等奖 1 项、中交集团第二届“数智杯”大赛一等奖 1 项。





2026年1月15日，中交海峰“海峰5112”全铝合金风电运维船在浙江平湖华海造船厂成功举行吉水仪式。“海峰5111”、“海峰5112”作为中交海峰51系列2代高速全铝风电运维船，采用先进的船型设计与全铝合金结构，兼具轻量化、高强度和耐腐蚀等优势，船舶在航速性能、耐波性与操作稳定性方面较1代船舶有显著

提升。同时，该船型注重绿色节能设计，通过优化动力系统与船体线型，有效降低能耗与排放，能够更高效、更安全地应对福建、广东等海域复杂海况，保障运维人员与物资的顺畅转运，为风电机组的日常巡检、维护保养、应急抢修及人员换班等提供可靠支撑，为海上风电行业实现高效、低碳、智能运维提供强有力的装备保障。



融合发展

全球首个！ 海上风电制氢平台商业化更进一步

海洋牧场、制氢储能、多能互补等

东方电气集团所属东福研究院自主研发的漂浮式风电耦合海水无淡化原位制氢综合平台，成功获得中国船级社颁发的原则性批准证书（AIP），成为全球首个通过该权威认证的漂浮式风电制氢平台，标志着我国在深远海新能源装备领域实现关键技术突破，漂浮式风电制氢平台商业化应用又进一步。该平台直接以海水为原料的零碳绿氢制备技术，核心分为海水淡化+纯水制氢（成熟商用）、直接海水电解制氢，解决了传统绿氢缺水、储运成本高的痛点。

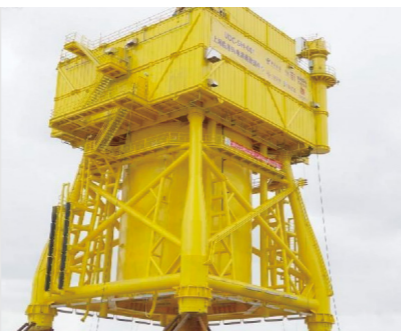


融合发展

全球首个！ 数据中心“下海”，绿色算力领域实现重大突破

海洋牧场、制氢储能、多能互补等

全球首个海上风电直连海底数据中心示范项目 2025 年 10 月 21 日在临港宣告落成。该项目位于上海临港南汇边滩东侧海域，坐落在临港海上风电场一、二期之间，距岸站约 10 公里，水深约 10 米。项目通过光电复合电缆实现电力与数据同步传输，创新性融合海上风电与海底算力系统，不仅就近消纳海上风电，还充分利用海洋作为天然冷源，有效降低冷却能耗，形成“海上绿电”与“海底算力”协同发展的创新模式。



融合发展

全球最大海上风电制氢项目落地广东阳江

海洋牧场、制氢储能、多能互补等

2026 年 1 月 23 日，总投资 110.9 亿元的宝武清能（阳江）绿氢产业园项目在广东阳江正式启动。项目将建设年产 8 万吨绿氢生产基地、绿氢产线、氢能先进装备基地、固态储氢材料产线及创新研发中心。建成后阳江将成为我国东部最大、全球规模领先的海上风电直接制氢产业基地标志着广东省在绿氢战略布局上迈出关键一步。

启动建设的阳江绿氢产业园项目将成为全球最大规模海上风电直接制氢工程，通过“绿电 - 绿氢 - 绿色冶金”产业闭环推动氢能装备制造与上下游产业集群发展，为钢铁乃至工业领域提供可复制的零碳转型路径。

清洁能源新标杆 宝武引领零碳转型

作为中国宝武旗下清洁能源专业平台，宝武清能持续推进“清洁能源 + 工业气体”双轮驱动，加速布局新能源赛道。此次阳江项目不仅是一次产业投资，更是“绿电 - 绿氢 - 绿色冶金”零碳循环模式的全球实践，为钢铁乃至高耗能行业低碳转型提供可复制的技术路径。

风电制氢贯通产业链 打造广东“输氢走廊”

项目首创海上风电直连制氢模式，整合风电与氢能全链条，未来将打通广东省输氢走廊，构建以绿氢为核心的清洁能源网络。通过“绿电直供、绿氢直连”，带动氢能装备、绿氨、绿色醇类等上下游产业集群发展，推动形成“千亿级”绿色氢能生态圈。

科技 + 产业双高地 赋能大湾区绿色发展

园区内将建设新型制氢装备研发中心与固态储氢材料生产线，打造具有全球竞争力的绿氢技术创新策源地。项目落地将显著提升广东在绿氢领域的战略引领地位，为粤港澳大湾区能源结构优化与产业升级注入强劲动力。



宝武绿氢产业园

在阳江市投资建设风电制氢一体化项目，通过 1.5GW 海上风电绿电直连模式直接制氢，制绿氢规模 8 万吨 / 年。项目总投资 110.9 亿元，是目前我国东部地区最大的绿氢产业项目，将有力带动广东省氢能装备及绿色氢、氨、醇上下游生产制造产业发展，推动“千亿级”绿色氢能产业集群建设。项目建成后，可显著提升广东省在绿氢领域的战略引领地位，对推动氢能产业化发展具有标杆意义。



高端制氢装备生产基地

聚焦绿色制氢领域关键技术装备和产品的创制研发，开展超低成本、高活性、长寿命非贵金属基纳米催化制氢装备规模化、智能化高效生产。通过数字化车间与柔性生产线融合，实现兆瓦级装备的模块化定制，每立方氢气电耗低于 3.9kWh，达到国际先进水平，成为支撑国家氢能战略装备自主可控的“硬核力量”。



新型固态储氢材料生产基地项目

通过探索镁、钠、铝、钙等高体积极储氢密度、高安全性的固态储氢模式，建设华南最大的固态储氢材料生产基地，除满足广东市场需求外，还辐射国内外市场。



绿色氢能研发中心

中心由宝武清洁能源公司与北科大新金属材料国家重点实验室共同成立。中心以“氢能科技制高点”为定位，构建“基础研究 - 技术中试 - 产业孵化”三级创新体系，研发新型低压制氢装备制造与装配和催化材料加速老化测试系统、风光耦合制氢测试系统、制氢安全检测系统等；开展镁、钠铝、钙等固态储氢材料研发中试。

输氢管道建设以阳江为起点，规划建设阳江至湛江、珠三角和香港三条输氢管线，降低氢气输送成本，将为湛江钢铁供应绿氢，并辐射大湾区市场，支持香港氢能城市发展。



一座基地，一个标杆，一种未来，宝武清能（阳江）绿氢产业园。
不止于规模，更在于模式创新与产业带动。
这里生产的不仅是绿氢，更是一场零碳变革的起点



成飞新材

叶片制造

2025年，成飞新材实现叶片入库达1300套以上，叶片发运项目容量超10GW。其中，国际市场方面，公司顺利完成位于东南亚、东欧等5个国家首批重要项目交付，海外市场版图有力拓展。



南高齿

齿轮箱

截止2025年，南高齿全球累计交付主齿轮箱超过12.5万台，装机容量超过385GW，另偏航变桨齿轮箱累计交付近百万台。连续超过10年，在全球和国内市场份额稳居第一。



风电机组研发与制造子链

东方电气

整机制造



东方风电研发26兆瓦级海上风电机组为全球首创，是目前单机容量最大、叶轮直径最长的机型，以多项“全球首个”技术领跑行业。机组采用第三代全集成半直驱等领先技术，实现三大开创性突破：全球首个融合机器学习、CFD与风洞测试的半经验翼型分析方法，首创叶片气动--结构协同设计与模块化一体成型工艺；提出全球首个全集成半直驱传动链构型，率先建立多激励动力学模型，研制高扭矩密度齿轮箱；首创整机-支撑结构全耦合一体化设计技术，实现双向优化与总体轻量化。机组3万余部件100%国产化，可抵御17级超强台风，单台年发电超1亿度（满足5.5万户用电），减排二氧化碳8万吨。入选2024年央企十大国之重器，标志我国高端装备制造实现新跨越，为全球海上风电树立新标杆。



海上并网与输电系统子链

中车株洲所

公司荣获“风电领跑者”最佳海上机组产品奖

2026年1月8日，第五届“风电领跑者”技术创新论坛在北京圆满落幕，中车株洲所自主研发的12MW系列化海上风电机组荣获“最佳海上机组奖”。12MW系列化海上风电机组承载着中车在高端装备制造领域“高铁级”的高可靠性基因，是中车株洲所面向海上中低风速区域定制化的平价机组。目前该机组已于2025年8月在山东东营成功吊装，当前已斩获1GW订单，将为全球能源绿色低碳转型贡献澎湃的“中车力量”与“中车智慧”。

整机制造

中电普瑞

深远海风送出



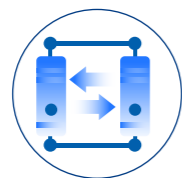
01 柔性直流送出技术

中电普瑞拥有4500V/2000A、3000A和5000A的IGBT压接型子模块供货及工程应用业绩，正在加紧开展6500V的IGBT和IGCT子模块及换流阀研制，为深远海风送出提供最高效、创新型解决方案。



02 混合换流器送出技术

采用二极管整流器和小容量换流阀替代传统高压大容量MMC型换流器，有利于减小海上平台的重量和体积，降低海上平台投资，未来在面向低成本大规模新能源送出场景具有较强竞争力。



03 柔性低频送出技术

采用电力电子变频技术将50Hz工频转化为低频交流送出，可省略海上换流站建设投资，未来面向低频汇集、低频组网送出场景，低频换流阀将成为系统方案的关键装备之一。

南瑞继保

智能运维

南瑞继保开发海风柔直一体化智能运维系统，构建“风电场+柔直换流站”一体化智慧监控系统，实现全景感知、协同控制、高可靠运行与智能运维，结合数字孪生技术，实现核心设备状态监测、智能分析、主动预警和辅助决策等高级应用，支持远程操控，“海上无人值守、陆上集中管理”，支持机器人、无人机、视频监控等多源数据融合，实现联合巡检、异常行为识别和智能联动。



风电场规划设计与建安子链

三峡上海院

设计研发

2026年1月23日，三峡上海院“大型海上风电一体化仿真设计软件”入选国务院国资委发布《中央企业科技创新成果推荐目录成果手册（2024年版）》。

上海院依托国家级重大攻关项目，全自主研发我国首套覆盖20MW以上超大容量海上风电多基础型式的大型数值仿真工业设计软件HyphoonSIM[®]，具备风电机组-支撑结构耦合分析等核心功能，成为新能源领域唯一入选第四批能源领域首台（套）重大技术装备，并于2025年全面推进应用推广。通过“产-学-研-用”与“厂家-设计院-业主”双链条驱动，持续推广应用。在上海交大、浙大等高校科研院所测试优化算法，在“三峡引领号”“阳江沙扒170万千瓦”等十余项国家重大工程及中车风电等产业链企业示范应用，实现大直径单桩、漂浮式等多结构仿真设计与验证，平均降低载荷及工程量超10%，显著提升计算效率，逐步替代进口软件实现国产化。此举不仅填补了我国海上风电自主仿真设计软件空白，更通过技术迭代与产业协同，引领行业设计能力提升，为深远海风电规模化开发提供核心工具支撑。



华东院

勘察设计

2025年10月23日，中国勘察设计协会公布了2025年度全国优秀工程勘察设计奖，华东院“国电舟山普陀6号海上风电场2区项目工程勘察”、“福建莆田平海湾海上风电场二期项目（I标段）”荣获工程勘察二等奖；“国家电投神泉—315.5MW海上风电场及陆上集控中心工程”、“国电象山1号海上风电场（二期）工程”荣获电力工业设计二等奖。

广东院

设计研发

中国电机工程学会公布2025年电力科学技术奖获奖项目名单，中国能建广东院作为第一完成单位申报的“复杂环境下海上固定式风力机结构体系一体化设计关键技术及应用项目”荣获科学技术进步奖一等奖。项目团队开展了长达14年的持续攻关，围绕海上风力机结构核心设计中的三大“卡脖子”难题——多灾害耦合模拟方法、复杂海洋环境下桩-土相互作用理论和结构一体化设计，成功实现一系列关键技术突破：形成了具有自主知识产权的抗风-浪-流-地质耦合灾害的成套设计理论与技术，实现了对极端复杂环境荷载的精准模拟，为结构安全奠定核心理论基础。建立了兼顾安全性和经济性的复杂环境作用下整体结构设计及优化方法，开发了复杂环境下海上固定式风力机结构体系设计软件平台，显著提升了结构设计效率。创新实现了风浪流灾害评估与结构设计的深度融合，发明了三桶吸力桶、大直径非嵌岩导管架等新型固定式基础，成功解决了在研时世界上规模最大、环境最复杂的系列大兆瓦海上风力机结构体系设计与优化的关键问题。形成自有知识产权70余项，国家、行业技术标准10余项。成果已应用于40多个海上风电场项目中，约占全国海上风电总装机容量1/4，为推动我国海上风力机结构体系自主研发和设计进程提供了强有力的技术支撑。

70 余项
自有知识产权

10 余项
行业技术标准

40 多个
成果应用于海上
风电场项目中

1/4
约占全国海上
风电总装机容量

中交三航局

施工建设

中国电力建设企业协会公布2025年度电力优质工程评审结果，三航局“国家能源集团国华半岛南U2场址海上风电一期项目、国家能源集团国华半岛南U2场址海上风电二期项目”、“昌邑市海洋牧场与三峡300MW海上风电融合试验示范项目”荣获“2025年度中国电力优质工程”。

中铁大桥局

数智化施工

在第十届海上风电工程技术大会上，中铁大桥局正式发布了其创新研发的“海上风电场数智化施工管控平台”。该平台深度融合大数据、物联网与人工智能技术，集“方案智策、海域智感、船舶智管、流程智控、过程智溯”五大核心功能于一体，被誉为驱动海上风电建设的“智慧中枢”。这一系统的推出，标志着海上风电施工迈入以数据驱动、智能协同为特征的新阶段。它不仅显著提升了作业效率与安全性，降低了运维成本，更通过全流程数字化管理，为行业树立了“透明、可控、可追溯”的工程建设新范式，对我国海上风电规模化、高质量发展具有重要的推动意义。

广州打捞局

广州打捞局《海上风电先桩法导管架基础施工关键技术及装备研发与应用》入选中国专利保护协会 2025 年度绿色技术创新案例。2025 年 12 月 26 日，交通运输部广州打捞局 1600 吨级插桩式深水起重船建造合同签约仪式在穗举行。

海上风电智慧运维子链

海上风电“SES”一体化运维解决方案研究

福建海电运维科技股份有限公司为解决海上风电运维环节分散、独立的问题，创新性的提出构建“人员—装备—服务”一体化运维体系（Staff-Equipment-Service，简称“SES”体系）的研究思路，该体系从业务统一、资源统一、质量统一等三方面构建运维全链条协同、全周期覆盖、全数据驱动的综合性、一体化、长周期运维模式，从而实现运维资源的统一管理与高效调度，实现全周期运维费用最高可降 20%，故障停机时间最低减少 30%，备件浪费最高减少 20%。在福建、浙江及广东等区域海上风场成功运行 2 年多。



海上风电融合发展子链

三峡研究院

2026 年 1 月 23 日，三峡研究院“离岸桩柱式潮流发电与测试系统”成果入选国务院国资委发布的《中央企业科技创新成果推荐目录成果手册（2024 年版）》。三峡研究院依托国家重大攻关项目，牵头研发了我国首个离岸桩柱式潮流发电与测试系统，构建了集海上发电、升压送出和提升检修功能一体化的海上综合测试平台，具备海洋环境监测、设施实时安全监测、机组性能测试等功能，并在舟山潮流能示范工程开展示范运行，支撑建成了我国首个国家级潮流能试验场。成果相继入选 2024 年度绿色技术创新典型案例、中国可再生能源学会 2025 年度科技进步二等奖。

广州能源所

广州能源所牵头推进的“波风光储一体化能源保障系统”，为中国科学院战略性先导科技专项，在 2025 年取得关键进展。已完成多轮模型仿真及抗台风等极端工况试验，并计划在外伶仃岛等场景进行实际应用示范。

大连理工

大连理工大学海岸与海洋工程全国重点实验室，依托波场重构、透空减载、多体共振等核心技术，研发了聚能-减载型波能阵列化开发系统。该系统阵列波-电转换效率突破 50%（国际平均水平约 15%），极端波浪荷载较集成前降低 40%。实验室研发的风-波融合技术，支撑北部湾 300kW 波浪能与 10MW 风电融合发电装备的建设。同时，团队创新提出桁架式网箱调谐液体阻尼降载减晃设计、漂浮式光伏一体化设计技术，并研发设计了辽宁省首台面向黄渤海冷水鱼养殖的深远海可潜降桁架式半潜大型网箱。

天津理工

天津理工大学练继建教授团队提出了面向风-光同场融合开发的漂浮式光伏高效优质低成本开发关键技术。研发了抗风-抗浪-抗流-抗冰新型浮体平台，高效安全的电气系统设计和耐候性提升技术，高效模块化建造与施工技术以及一体化监测预警与智慧运维技术等。主持国家十四五重点研发计划海上漂浮式光伏项目，牵头天津海域 2000 万 kW 的海上风光能源开发规划，负责天津、山东、江苏等多个开发示范项目。2023 年率先在天津实现全球首个张弦浮岛式光伏发电平台示范。

国家海洋技术中心

国家海洋技术中心成功通过中国计量科学研究院、上海电器设备检测所有限公司组织的电力参数能力验证，并获得相关能力验证证书，技术实力获权威认可。



行业动向

INDUSTRY
UPDATES

政策动向：海洋经济

广东省 《广东省推动海洋经济高质量发展行动方案（2025-2027年）》

2026年1月，中共广东省委办公厅、广东省人民政府办公厅印发《广东省推动海洋经济高质量发展行动方案（2025-2027年）》。

方案提出，大力发展海上风电，加快推进省管海域项目规模化开发。推广深远海大容量抗台风机组、远距离柔性直流输电、漂浮式海上风电机组等新技术应用。推动海上风电开发与海洋牧场、海水制氢、观光旅游等相结合，实现海域立体空间充分利用。稳妥有序推进海上光伏建设，开展海上光伏资源摸查调查，编制海上光伏发展规划方案。推进海上风电场区、电厂确权温排水区、长期闲置或废弃盐田等海上光伏项目建设。支持企业开展海上光伏关键和共性技术研究。加强波浪能等海洋能关键技术攻关，探索海洋能综合利用。支持在珠海万山等地布局建设海上综合能源平台（装置）。支持建设海上能源岛。

持续攻关1500米以下超深水海底智能化深海油气资源开发、深海矿产资源勘探、深远海浮式风电平台等设备关键技术。推进“极地”号破冰科考船等极地重大技术装备研发制造。支持广州加快布局深海极地产业，深圳加快建设国家深海科考中心，具备条件的地市加快布局深海采矿产业。

聚焦海洋养殖网箱、人工鱼礁、超长海上风电叶片等产品制造需求，推动玄武岩新材料应用。积极开展海洋材料工程领域相关的技术研发、工程和产品示范应用，加强耐腐蚀、耐高压等前沿材料及表面改性技术、结构健康监测与检测等前沿技术的研发与产业化应用。

江苏省

2026年1月，江苏省发改委公布《2026年江苏省重大项目名单》，拟安排省重大项目670个，其中实施项目550个，同比增加50个，年度计划投资6646亿元，同比增加120亿元。江苏省2026年重大项目一实施项目包含3个海上风电项目：南通145万千瓦海上风电、盐城604万千瓦海上风电、盐城龙源海上风电，其中盐城龙源海上风电项目装机容量约600MW。

河北省

1月4日，河北省发展和改革委员会发布《关于印发河北省2026年省重点建设项目名单的通知》。《通知》显示，河北省2026年省重点建设项目共计747项，总投资1.56万亿元。河北省2025年省重点建设项目名单包含6个海上光伏风电项目。

国华（赤城）秦皇岛昌黎

500 MW

海上光伏试点项目

河北华电冀北新能源昌黎

500 MW

海上光伏试点项目

唐山乐亭月坨岛海上风电场
一期工程项目

中电建秦皇岛新能源昌黎

30 万千瓦

海上光伏试点项目

河北建投祥云岛

250 MW

海上风电项目

唐山顺恒祥云岛

250 MW

海上风电项目

海南省

1月26日，海南省发展和改革委员会发布《关于印发海南省2026年重大项目投资计划的通知》。《通知》显示，2026年安排省重大正式项470个，总投资7175亿元，年度计划投资1280亿元。海南省2026年重大项目投资计划表包含5个海上风电项目。

海南东方 CZ8 场址

50 万千瓦 海上风电项目

申能海南

CZ2 海上风电示范项目

海南省东方深远海
海上风电试点项目

大唐海南儋州

120 万千瓦 海上风电项目

CZ11 海上风电试验项目

政策动向：电力市场

国家能源局 1 月 7 日印发《可再生能源绿色电力证书管理实施细则(试行)》，规范绿证核发、交易与核销。细则规定每 1000 千瓦时电量核发一个绿证，风电和太阳能发电上网电量可获可交易绿证，自发自用电量核发不可交易绿证，独立储能设施放电不核发绿证。绿证有效期 2 年，2026 年起核销需确保电量生产与消费年份一致，以提升环境权益准确性。细则为绿证市场提供了制度框架。

工信部等五部门 1 月 9 日发布《工业绿色微电网建设与应用指南(2026—2030 年)》要点，提出整合光伏、风电、储能、氢能等构建工业绿色微电网，推动可再生能源消纳与用能结构优化。在风电领域，应合理布局海上风电项目，遵循相关标准开展工程建设，新建可再生能源发电就近自消纳比例不低于 60%。提升可再生能源发电接入电网承载力和调控能力，实现“可观、可测、可调、可控”。

国家能源局山东监管办公室 1 月 6 日印发《山东省电力并网运行管理实施细则》《山东省电力辅助服务管理实施细则》(修订稿)。新规将于 2026 年实施，核心变化是扩大管理范围，将虚拟电厂、分布式电站和独立新型储能等纳入电力并网体系。细则强化了并网考核，对独立储能等主体在调度纪律、AGC 性能等方面设定标准，未完成黑启动任务最高处罚 1800 万元。同时完善补偿机制，明确黑启动、转动惯量等服务的补偿标准。新规通过考核与补偿结合，引导新兴主体规范并网，保障电网安全稳定运行。

浙江省发展和改革委员会、浙江省能源局 1 月 14 日发布关于推动绿电直连发展有关事项的通知，推动绿电直连，即新能源(如风电、光伏)通过专线直供用户，实现物理溯源。通知明确适用范围、项目类型及并网离网方式，强调负荷主体投资主导，鼓励创新，要求合理配置电源负荷，提升调节能力，保障电网安全，明确责任，规范交易与结算。项目需联审备案，按计划建设并评估，确保规范安全高效推进。



政策动向：融合发展

国家能源局、中国气象局 1 月 9 日发布《关于推进能源气象服务体系建设的指导意见》，提出加快构建能源气象服务体系，提升能源产供储销全链条气象服务能力。将联合发展覆盖能源生产、供给、储运等全场景的气象业务，加强风能、太阳能等气象服务，推进人工智能技术研发和关键技术攻关。目标到 2027 年基本建成一体化能源气象服务体系，实现专业数值模式和人工智能模型业务化运行，建立国省两级服务业务。到 2030 年，深化人工智能模型应用，提升水风光储等关键技术至国际先进水平，助力实现碳达峰目标。

广西壮族自治区政府办公厅 1 月 8 日印发《广西深入实施“人工智能+”三年行动方案(2026—2028 年)》，聚焦“人工智能+”海洋经济，推动海洋渔业、海工装备、海洋能源、海洋服务业等领域与人工智能融合发展。加快建设智慧门户港和枢纽港，建设广西智慧海洋监管服务平台，部署海洋牧场生态环境智能监测与生产活动辅助决策系统。





大容量机组叶片失效原因分析和研究方向

背景与现状

随着风电机组向大容量方向发展，陆上和海上机组单机功率已分别达到 15MW 和 26MW，叶片长度也突破 130 米和 140 米大关。然而，叶片失效事件呈频发态势，多数发生在机组投运后半年左右，造成严重经济损失。主要失效模式包括：

<p>前缘侵蚀失效 环境侵蚀导致气动性能退化</p>	<p>极限超载失效 台风等极端天气引发结构断裂</p>	<p>疲劳累积损伤失效 结构承载能力不足所致（占比最高）</p>	<p>气弹 - 机电耦合振荡失效 叶片与变桨系统耦合失稳</p>
---------------------------------------	--	---	---

失效诱因分析

- ▶ **01 环境侵蚀因素**
盐雾、风沙、雨蚀等环境因素与交变载荷叠加作用，加速叶片材料老化与结构劣化，成为失效的重要诱因。
- ▶ **02 极限载荷因素**
深远海区域强风工况下，叶片易承受超出设计阈值的极限载荷，导致结构性断裂。
- ▶ **03 疲劳损伤因素**
制造缺陷（复合材料成型过程中易产生孔隙、分层等缺陷）、附件设计不足（配重等附属部件设计欠优化）、仿真精度欠缺（有限元分析准确性有待提升）。
- ▶ **04 变桨系统因素**
叶片 - 变桨系统弯扭耦合振荡，叠加独立变桨技术应用，易诱发系统失稳，加速损伤演化。
- ▶ **05 雷击因素**
作为海上风场常见极端工况，雷击可能间接导致叶片绝缘破损与结构损伤，需在失效防控中统筹考虑。

深层技术问题剖析

叶片作为捕获风能的核心部件，其可靠性直接决定机组运行安全与服役寿命。尽管失效叶片均通过设计认证与型式认证，且现场批量技改维修持续进行，但失效风险仍未根本消除。核心症结在于：

五大技术瓶颈

<p>技术割裂问题 材料、结构、制造与控制等环节缺乏有效协同，形成技术壁垒。</p>	<p>制造缺陷管控缺失 缺乏规范化的缺陷分级标准，缺陷信息无法有效映射至仿真校核环节。</p>	<p>结构建模能力不足 现有建模方法难以充分表征超大柔性叶片的几何非线性、弯扭耦合、剪切柔度及旋转效应等关键特性。</p>	<p>仿真软件自主化欠缺 叶片有限元校核软件在超大柔性叶片适配性和国产化方面存在明显短板。</p>	<p>设计理念偏差 过度追求轻量化与初始成本，相对忽视安全寿命与全生命周期成本优化。</p>
---	--	--	--	---

研究方向

针对超大柔性叶片在复杂失效模式下的非线性动力学行为表征难题，需构建融合几何精确梁理论、多体动力学与气弹耦合的高保真机组动力学模型。重点突破叶片大变形条件下的几何非线性建模，建立考虑弯-扭-剪耦合效应及旋转软化、应力刚化等附加动力学特性的叶片有限元建模方法；针对前缘侵蚀、分层开裂、螺栓松动等不同失效模式，开发失效参数化的等效建模技术，实现从微观材料损伤到宏观结构刚度退化的跨尺度映射。

研究极端风况与失效状态耦合作用下的机组瞬态响应机理，建立涵盖气动载荷突变、结构模态跃迁与控制策略交互的非线性时域仿真方法。开发基于实测数据的模型修正与验证技术，利用 SCADA 数据、叶片载荷监测及加速度响应信息，构建数据-物理双驱动模型参数辨识与校准方法，提升仿真模型对实际机组失效演化过程的预测精度。最终形成覆盖“正常服役-初始损伤-失效扩展-极限失效”全历程的机组动力学响应数据库，为叶片失效的早期识别、剩余寿命评估及主动防控策略制定提供高精度仿真支撑与决策依据。

国家海洋技术中心 破解多能互补装置阵列测试难题

技术突破

研究团队在非接触式六自由度测试技术方面实现了重大突破，成功完成 3 组发电装置中 13 个目标体的六自由度数据精准测量，打破了当前室内六自由度测试的技术瓶颈，为多能互补装置的协同性能评估提供了全新技术方案。

3 组
发电装置

13 个
目标体

海上风能与波浪能联合发电作为海洋可再生能源开发的前沿方向，因能量密度高、稳定性强极具应用前景，但单机性能优化与阵列协同运行的测试技术一直是行业攻关难点。

国家海洋技术中心依托承担的国家重点研发计划项目研究任务，深入开展了阵列试验与测试方法研究，形成了科学系统的试验方法与精准的测试技术，通过模拟复杂海洋环境条件，全面验证了装置的功率输出、运行稳定性及协同效率等关键指标。

大连理工大学 风浪联合发电技术研究取得新突破

大连理工大学海岸与海洋工程全国重点实验室研究团队提出并验证了一种新型双气室圆柱式 OWC-WEC 与抛物型聚能防波堤的集成系统，首次建立了双气室 OWC 与抛物聚能堤集成系统的实验-数值模型，揭示了能量聚焦与气室耦合作用下的高效波能捕获机理，为 OWC 波能装置的高效化、经济化和工程化应用提供了新的结构思路与关键技术路径。

此外，研究团队还提出了一种兼具防护与能量利用功能的新型嵌套式双气室振荡水柱防波堤 (ND-OWC) 结构，基于三维 CFD 数值模拟，对 ND-OWC 单元及阵列两种尺度的水动力特性进行系统分析，与传统坐地式 OWC 阵列相比，ND-OWC 在中等能量捕获的同时实现了更优的波浪消减与功率稳定，为可持续海岸防护与波浪能开发提供了新的技术路径，相关成果近日发表在国际知名期刊《Coastal Engineering》。

海上风电 标准化工作组筹建

中电联标准化部发布关于拟成立能源行业风电标准化技术委员会海上风电标准化工作组筹建方案公示的通知。第一届能源行业风电标准化技术委员会海上风电标准化工作组拟由 51 名委员组成，吕庭彦任主任委员，谢伟华、史文义、蔡玮良、胡小峰任副主任委员，吕东任委员兼秘书长，翟恩地、陈荣敏任委员兼副秘书长。秘书处挂靠单位为中国长江三峡集团有限公司。





海风匠心

OCEANIC MASTERY

01

中国船级社海洋工程技术中心
副主任、正高级工程师
李红涛



链上故事

作为中国船级社海洋工程技术中心副主任、正高级工程师，李红涛深耕船舶与海洋工程领域二十余载，以“匠心”筑牢海上风电安全基石。他主导国家重点研发计划“深远海漂浮式风电机组关键技术与装备”等 13 项重大课题，突破海上风电装备安全保障核心技术；牵头制定《海上浮式风机平台指南》等 18 部国家 / 行业标准，填补国内海上风电规范空白，其中“海上固定式风电设施安全保障技术体系建立与应用”获中国海洋学会科学技术一等奖，为我国风电装备从浅海走向深蓝提供“中国方案”。

他始终扎根技术一线，完成海上设施入级及法定检验审图工作合计 100 余项，牵头负责我国所有已建和在建的海上浮式风电设施设计审查，主编《深水自升式平台工程分析技术与实践》等专著，在 SCI/ EI 期刊发表论文 40 余篇。从规范制定到工程实践，他以“毫米级”精度雕琢技术细节，用“十年磨一剑”的坚守，诠释了新时代“匠人”对专业的极致追求，成为推动海上风电产业高质量发展的幕后“标准筑路人”。

02

三峡上海院高级项目经理
赵超祥



链上故事

作为深耕项目管理三十余年的高级项目经理，赵超祥始终以“匠人精神”奋战在工程最前沿。他先后负责三峡新能源江苏大丰二期、青洲五六七百万风电项目群、漳浦六鳌二期等多项国家及区域重点海上风电项目建设，累计实现装机容量超百万千瓦。在施工管理过程中，他攻克远海深水施工、大容量机组批量化安装等一系列技术难题，推动我国海上风电由近海走向深远海、由单点示范迈向规模化开发。

从江苏大丰我国离岸最远海上风电项目的全程坚守，到青洲世界规模最大深水海上风电项目的全力推进，再到漳浦六鳌全国首个批量化应用 16 兆瓦机组的示范工程一线指挥，他始终扎根现场、靠前管理。

他主导完成多项重大吊装与海上施工方案，亲自协调解决技术难题数十项，确保各项目优质、高效、安全、准点并网，为我国海上风电规模化、高质量发展积累了宝贵的工程实践经验。

他以“现场即战场”的担当，诠释了一名海上风电建设者的专业与坚守。从技术攻坚到项目管理，他以“钉钉子”精神推动每一个环节落地，用“奔跑在一线”的姿态，彰显了新时代风电人“向海图强、迎风而行”的奋斗本色，成为推动中国海上风电从跟跑到领跑的工程实践领航者。

03

中铁大桥局常务副经理
夏小双



链上故事

作为项目主要负责人，在漳浦六鳌二期风电场完成全球首台 20 兆瓦海上风电机组的安装，在莆田 DE 区风电场创造 35 小时吊装完成 16.6 兆瓦风电机组的记录，熟练掌握不同厂家海上风机的安装工艺及技术要求，累计安装海上风电机组数量达 250 台，具备丰富的海上风电风场施工经验。

夏小双，34 岁，汉族，本科学历。于 2014 年参加工作，现任中铁大桥局集团新能源分公司大桥海风事业部常务副经理。其先后参与国内多个海上风电项目的建设，其中涵盖福建兴化湾、三峡大丰、三峡阳江沙扒风电场、三峡阳江青洲五六七期、漳浦六鳌二期、莆田平海湾 DE 区等海上风电场。完成国内多个知名厂家风机的安装工作，具体包括远景能源 4.0MW、中国海装 5MW、明阳 5.5MW/6.45MW、金风科技 6.45MW、上海电气海上 7MW、金风科技 13.6MW 等型号风机。



数据呈现

DATA PRESENTATION

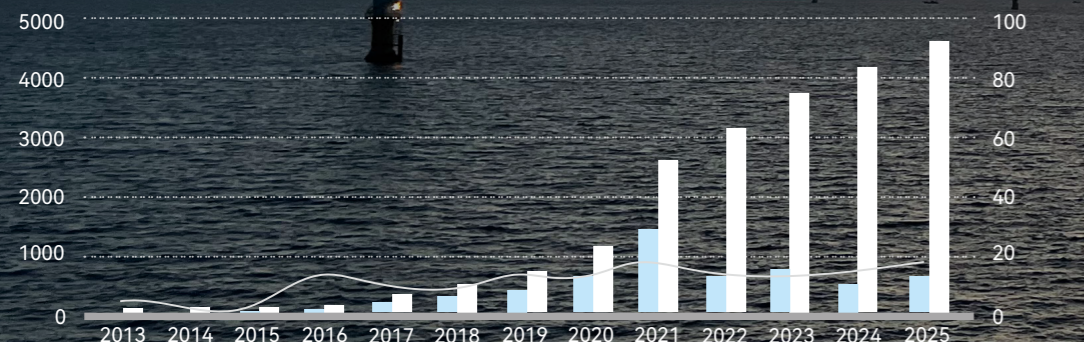
2025 年

我国海上风电装机规模继续保持高速增长，据初步统计

累计并网装机超 **4739** 万千瓦
 连续 **5** 年位居全球首位

全年新增并网装机约 **612** 万千瓦
 全新增投资超 **640** 亿元

单位 / 万千瓦



• 2013-2025 中国海上风电装机容量

01

海上风电产业链成本下降趋势

中国海上风电的成本路径具有鲜明的中国特色，大致可分为“政策驱动高成本期”、“抢装期成本波动”和“平价探索与成本快速下行期”三个阶段。近年来，受“国补”退坡政策倒逼及技术创新驱动，中国海上风电成本下降幅度显著。2025 年，随着“136 号文”的出台，已由“平价时代”全面进入“竞价时代”。全球范围内，海上风电亦成为度电成本下降最快的可再生能源之一。

三峡集团

积极推动海上风电产业规模快速增长，2025 年围绕强链补链实施了一批重大海上风电项目

新增装机 **160** 万千瓦
 占比 **26%**

累计装机规模稳居全国首位，全球前列。

02

全球成本趋势 规模化效应显现

趋势判断：

随着机组大型化和项目规模化，全球海上风电成本继续保持下行通道，预计 2025 年左右将在大多数市场实现低于化石燃料发电的成本。

海上风电作为资本密集型产业，度电成本 (LCOE) 对利率和融资条件具有高度敏感性。同时，稳定的投资环境（如长期购电协议、低风险担保）对维持成本下降趋势至关重要，需平衡技术优化与金融风险管控。

我国海上风电度电成本持续下降，根据 IRENA 最新发布成本报告显示

2024 年底电成本为 **0.056** 美元 / kWh
 比 2023 年下降 **22%** ↓
 比 2010 年下降 **72%** ↓

从长期看，全球度电成本处于下降趋势，2010 年至 2024 年

全球海上风电度电成本下降 **62%**
 从每千瓦时 **0.208** 美元 到每千瓦时 **0.079** 美元

短期看 2024 年全球度电成本同比却上升，主要因为欧洲等其他国家度电成本上升抵消了中国下降趋势

2023 年全球海上风电度电成本为 **0.076** 美元 / kWh
 2024 年全球海上风电度电成本为 **0.079** 美元 / kWh
 略有上升 **4%**

欧洲的度电成本明显增加

2023 年欧洲海上风电度电成本为 **0.069** 美元 / kWh
 2024 年欧洲海上风电度电成本为 **0.080** 美元 / kWh
 同比上涨 **16%**

区域和国家	2022	2023	2024	同比
全球	0.081	0.076	0.079	3.9%
二十国集团 + 欧盟	0.078	0.072	0.070	-2.8%
中国	0.078	0.072	0.056	-22.2%
欧盟	0.084	0.073	0.080	9.6%
美国	--	0.118	0.123	4.2%

• 全球不同区域海上风电度电成本对比 (美元)



中国成本趋势： 从“高价补贴”到“平价上网” 再到“竞价时代”

中国海上风电产业经历了 2021 年和 2022 年的“抢装潮”后，产业链通过技术升级快速消化了补贴退坡影响，成本大幅回落。

样本时间	机组价格 (含塔筒元 /kW)
2022Q1	4046.30
2022Q2	4549.05
2022Q3	3637.69
2022Q4	3732.70
2023Q1	3895.38
2023Q2	3374.06
2023Q3	3676.71
2023Q4	3539.52
2024Q1	3210.86
2024Q2	3385.39
2024Q3	3247.18
2024Q4	3247.95
2025Q1	2910.00
2025Q2	3155.99
2025Q3	/
2025Q4	3081.35

• 风能协会统计历年数据

成本下降趋势



▶ 机组大型化：核心驱动力

机组单机容量的提升是降低海上风电成本最直接、最有效的路径。通过提高单机容量可以减少机位数量，从而降低塔筒、基础、海缆、施工安装及后期的运维成本。

现状与趋势：

我国海上风机已从 2010 年的主流 2-3MW 快速迭代至目前的 8MW-16MW。随着 18MW、20MW 级超大型风机的研发与投运，风机数量的减少将显著降低工程量，预计未来单机容量的提升将继续贡献约 10%-15% 的降本空间。

▶ 工程专业化与标准化：破除施工瓶颈

施工环节曾一度是海上风电成本高企的“卡脖子”环节。通过提升施工装备的专业化水平和工程设计标准化程度，大幅缩短海上作业窗口期，降低施工船机台班费和融资成本。

现状与趋势：

目前国内自航自升式安装船、起重船等特种装备日益增多，不仅缓解了供需矛盾，还通过施工工艺优化（如单桩基础直径加大、吸力桶导管架应用等）提升了安装效率。标准化设计则进一步降低了备品备件库存和模具摊销成本。

▶ 开发深远海化：拓展资源边界

随着近海资源趋于饱和，走向深远海是未来产业发展的必然趋势，也是降本的重要路径。深远海风能资源更丰富、风速更稳定，虽然建设成本增加，但发电小时数显著提升，从而摊薄度电成本。

现状与趋势：

通过柔性直流输电和动态海缆技术的突破，输电成本逐步下降。同时，漂浮式风电技术的商业化探索，将为深海风电提供更具经济性的解决方案，实现“资源增量”对冲“成本增量”。

▶ 全生命周期数字化运维：挖掘隐性价值

在建设成本下降空间有限的背景下，运营与维护成本的优化成为降本的新高地。利用大数据、人工智能和数字孪生技术，实施预防性维护和精准运维，降低故障停机时间，延长设备寿命，提升全生命周期发电量。

现状与趋势：

产业链上下游正在打破数据壁垒，构建集气象预报、故障预警、远程监控于一体的智能运维平台。通过降低运维人员出海频次和提升机组利用率，预计可使全生命周期度电成本降低 5%-8%。



美丽海洋

OCEAN'S
BEAUTY



碧海唱响生态牧歌

在“双碳”目标引领下，我国海上风电已从规模扩张迈向高质量发展新阶段。作为战略性新兴产业，海上风电不仅关乎能源安全与“美丽海洋”建设，更被赋予了推动海洋生态保护与蓝色经济协同发展的时代使命。

01

政策引领 构建生态优先开发框架

我国海上风电的开发遵循严格的生态优先原则。早在2016年，国家能源局、国家海洋局联合印发的《海上风电开发建设管理办法》便已明确：风电场应统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，严禁在各类海洋自然保护区、重要渔业水域、滨海湿地、鸟类迁徙通道等重要、敏感和脆弱生态区域及生态红线区内布局，并要求项目全生命周期落实环保措施。2024年12月，自然资源部发布《关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，从规划管控、节约集约、部门协同、生态用海四方面提出12项措施，要求新增项目原则上在离岸30公里以外或水深大于30米的海域布局，严禁在生态保护红线、自然保护区等重要敏感脆弱生态区域布局，并鼓励采用“风电+”综合开发模式，实现“一海多用”。2025年1月，生态环境部发布《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》，为包括海上风电在内的涉海工程环评工作提供了更精细的技术依据。这些制度

共同构成了海上风电生态优先、节约集约、科技支撑、融合发展的制度基础。2025年2月发布的《关于推动海洋规模化利用的指导意见》进一步提出，鼓励在深远海海洋牧场加装海洋能发电设备，为渔业生产提供绿色电力保障。

海洋牧场方面，2025年中央一号文件提出，支持发展深远海养殖，建设海上牧场。深远海养殖是我国蓝色粮仓战略的重要组成部分，蓝色粮仓战略的提出，为实现我国新时期海水养殖业的可持续发展指明了方向，旨在减轻养殖活动对近岸海域的影响，拓展养殖空间，实现海水养殖业的高质量发展。2026年1月25日，《山东省海上牧场条例》经省十四届人大常委会第二十次会议表决通过，成为全国第一件关于海上牧场的地方性法规，就海上牧场平台等装备设施的检验规范、检验机构等作出明确规定，填补国内空白。

02

生态修复：从补偿到系统治理

制度约束下，海上风电的生态保护与修复实践日益系统化。国家电投山东半岛南 U1 场址一期 450MW 海上风电项目，在发电的同时，与地方合作对受损岸线进行系统性修复。通过增殖放流、浒苔清理及岸线修复，恢复了约 4.8 公顷沙滩、652 米自然岸线，将“工业岸线”逐步恢复为“亲海空间”。

山东莱州湾的全国首个海上风电与海洋牧场融合发展研究试验项目，在 48 平方公里海域内，将 38 台风机与网箱养殖区、人工鱼礁区等立体布局。投产以来，累计发电超 22 亿千瓦时，同时构建起集发电、养殖、生态修复于一体的复合生态系统。

2026 年 1 月，大唐儋州 120 万千瓦海上风电项目启动生态补偿增殖放流活动，计划连续开展 4 年，2026 年计划投放各类渔业苗种共计 542.5 万尾（粒），并邀请公证单位全程监督，放流后进行为期三个月的跟踪监测与效果评估，确保生态修复落到实处。

恢复了约
4.8 公顷沙滩

恢复了约
652 米自然岸线



03

产业融合，开辟蓝色经济新赛道

“海上风电 + 海洋牧场”建设与生态修复高度契合性。在海上风电建设之初，对风机桩基等进行合理规划，结合海区实际情况，设计特殊的结构和外形的桩基基础，以发挥人工鱼礁功能，进而改善海域环境，为鱼类等生物提供庇护所、索饵场等，形成良性发展的小生态系统。与此同时，在风机水上部分建设水上平台，配套监测设备、人工驯化设备和水产养殖设备等，将海洋牧场与海上风电融合发展，解决深远海域海洋牧场“用电难、用电贵”的问题，缓解深远海海上风电场电力输送损耗，实现海上风电的“即用即用”，促进海上风电的高效消纳。

04

汕尾“伏羲一号”风渔融合示范项目

全国首个“风渔融合”型海洋牧场项目，“伏羲一号”在广东汕尾正式投产。“伏羲一号”建设在距离汕尾海岸 11 公里的中广核后湖 50 万千瓦海上风电场中心场区，养殖水体达到 6.3 万立方米。在这片海域既能发电、又能养鱼，实现了海上风力发电与海洋牧场养殖的融合发展。预计投产后年产优质海水鱼类约 900 吨，年产值可达 5400 万元。



海风链动

BUILDING MODERN OFFSHORE WIND
INDUSTRIAL ECOSYSTEM

以海风为媒，链动未来
推动产业链上下游深度融合
助力打造安全、自主、可控、高效的现代化产业体系

主办单位
海上风电现代产业链联盟

2026年第1期 | 总第1期

