# 深远海风电制氢：为构建新型能源体系注入新动力

□　许传博　李忻颖　张文座　刘建国

由明阳集团自主研制的全球单体容量最大的漂浮式海上风电平台“明阳天成号”日前在广东阳江正式投运，该平台为两台8.3兆瓦风机并排而立、两个风轮朝反向旋转，总装机容量达16.6兆瓦，为探索深远海能源开启全新篇章。（明阳集团提供）

2024年7月，党的二十届三中全会审议通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》明确提出“加快规划建设新型能源体系”。2024年11月，《中华人民共和国能源法》正式颁布，强调“加快构建清洁低碳、安全高效的新型能源体系”。发展深远海风电制氢，是保障能源安全、促进清洁低碳的重要举措，是培育新质生产力的关键要素，将为新型能源体系的构建注入新动力。

海上风电是可再生能源发展的重要领域，我国拥有全长1.8万公里的海岸线和300多万平方公里的海域面积，发展海上风电具有天然优势。我国海上风电起步虽晚于欧洲，但近10年发展迅猛，截至2023年底，我国海上风电累计并网装机达37吉瓦，占全球市场的50%左右，连续4年位列全球第一。但受生态环境保护、交通航道占用等因素影响，我国近海风电资源日趋紧张。深远海具备更广阔的海域资源和更丰富的风能储量，展现出更大的开发潜力。世界银行的数据显示，全球可用的海上风能资源超过710亿千瓦，其中深远海占比超过70%。为推动深远海风电的发展，2022年6月，国家发展改革委、国家能源局等九部门联合印发的《“十四五”可再生能源发展规划》提出“开展深远海海上风电规划”。与此同时，上海、山东等沿海省市纷纷提出明确的深远海风电发展规划。在顶层设计与发展规划的加持下，我国深远海风电即将进入高速发展阶段。

然而，深远海风电未来发展将面临着大规模并网消纳难、海底输电成本高等挑战。在此背景下，发展深远海风电制氢可有效解决以上问题：一是利用海上风机发出的电能进行电解水制氢，缓解电力消纳压力；二是通过船舶或现有海底天然气管道掺氢来输送氢气，替代输电降低能源外送成本和运输能量损耗。因此，深远海风电与氢能的深度耦合可为其高质量发展开辟新的路径。

## 深远海风能技术可开发量超12亿千瓦

2023年，我国原油、天然气对外依存度分别超过70%和40%，较高的对外依存度对我国的能源供应韧性构成了挑战，特别是在国际能源市场价格波动、地缘政治冲突等不确定因素影响下，能源安全面临较大风险。

据国家气候中心的最新评估结果，我国深远海风能资源技术可开发量超过12亿千瓦。若全部用于制取氢气，理论上每年可生产1.05万亿立方米氢气，按照热值转换，这些氢气可以替代3560亿立方米天然气或26785万吨原油。据此测算，我国只需要开发46.5%的深远海风能资源用于制氢，即可完全替代2023年国内进口的天然气，即1656亿立方米。同样，开发全部深远海风能资源制氢可将我国原油对外依存度从当前的73%降低至38%。因此，大力推动深远海风电制氢可降低油气等能源进口风险，显著提升风电开发规模，提升能源自给自足能力，保障能源安全。

## 风电绿氢有望替代高碳氢源

我国在氢能产量方面居全球首位，截至2023年底，全国氢气年产量已突破3500万吨。从地理分布来看，我国氢能产业集群主要集中在东南部沿海地区，这些区域对氢能的需求较为旺盛，而西部及东北部地区的产业布局相对较少，呈现出由沿海向内陆的梯度分布特征。然而，东南部沿海地区的氢气主要来源于煤制氢、天然气制氢和工业副产氢等传统制氢途径，这些方法伴随着较高的碳排放，对于沿海地区实现降碳目标构成了挑战。因此，利用深远海风电制取的绿色氢能（绿氢）有望替代传统的高碳氢源。

此外，海上绿氢的供应还有助于推动难以实现电气化的行业实现深度脱碳。氢能具备多重角色，包括作为燃料、还原剂、化工原料以及储能介质。作为燃料，绿氢可应用于长途重卡运输、远洋航运和航空航天领域；作为还原剂，绿氢可替代焦炭用于钢铁生产；作为化工原料，绿氢可用于合成氨和甲醇等化学品；作为储能介质，绿氢能够存储海上风电的过剩电能，并在用电高峰期间释放。因此，开发深远海风电来实现沿海地区绿氢的就近规模化生产，不仅能够促进能源结构的转型，还能为实现碳达峰碳中和目标提供坚实的支撑。

## 海风制氢产业链助力培育新质生产力

深远海风电制氢产业链长，集合了当前高端装备制造的尖端技术。深远海风电制氢的典型技术路线主要是：漂浮式风机发电→海底电缆输电→汇集至海上平台集中制氢→海上直接消纳或通过管道/船舶运输上岸。我国深远海风电制氢系统从电力的“发输”到氢能的“制输用”等环节均展示出较强的技术革命性突破，助力新质生产力的培育。

发电方面，随着海上风电由近海向深远海挺进，海上风机支撑的结构由固定式向漂浮式变化。目前，我国已建成“三峡引领号”“扶摇号”“海油观澜号”“国能共享号”等漂浮式风电示范项目，其中“海油观澜号”在单台功率、离岸距离、水深、单位兆瓦用钢量等指标处于国际先进水平。

输电方面，海底电缆逐渐从单芯向三芯海缆技术转变，有效减少海底走廊占用面积。2023年8月，我国广东阳江青洲一、二海上风电场项目采用的三芯交联聚乙烯绝缘钢丝铠装海底电缆，是世界首条应用于工程的500千伏三芯海底电缆，也是世界上电压等级最高、单根最长的海底电缆。

制氢方面，海水无淡化制氢技术取得重大突破，2023年6月，全球首次海上风电无淡化海水原位直接电解制氢技术在我国福建兴化湾海上风电场测试成功。同时，广东省珠海市万山区桂山海上风电工业级制氢示范项目成功制氢，标志着亚洲首个工业级海上风电制氢示范项目的顺利落成。

输氢方面，面对传统金属钢管存在氢脆、氢腐蚀等风险等难题，2023年11月，中国联塑自主研发的RTP柔性输氢复合管纯氢爆破试验取得成功，标志着我国可实现该类输氢管道的国产化。RTP柔性复合管无需做海水防腐处理，非常适用于海底输氢使用，将满足海上大量绿氢输送上岸的需要。

用氢方面，2023年10月，我国首艘氢燃料电池动力示范船“三峡氢舟1”号在湖北宜昌完成首航，这标志着氢燃料电池技术在内河船舶应用实现零的突破。

# 加快构建新型电力系统　创新发展新型经营主体

□　张益国

为深入学习贯彻党的二十届三中全会关于能源改革的相关部署，落实能源法关于加快构建新型电力系统，提高电网对可再生能源的接纳、配置和调控能力的相关要求，国家能源局出台《关于支持电力领域新型经营主体创新发展的指导意见》（以下简称《意见》），对业内普遍关注的新型经营主体的主体地位、注册许可、调度运行、参与市场、计量结算等进行了明确规定，对于新型经营主体进一步蓬勃发展具有重要意义。

## 科学界定新型经营主体范围

《意见》将新型经营主体分为单一技术类和资源聚合类，其中，单一技术类除了包括分布式光伏、分散式风电和储能外，还包括可调节负荷；资源聚合类则包括虚拟电厂（含负荷聚合商）和智能微电网。关于新型经营主体的范围界定统一了业内对新型经营主体概念的争议，厘清了新型经营主体涵盖的业态，将进一步规范新型经营主体的注册和管理工作。《意见》仅从业态类型上界定新型经营主体，未对发、输、变、配、用电环节做过多限制，体现了鼓励发展、积极探索的理念。

## 在注册和申领许可证等方面给予政策倾斜

新型经营主体的蓬勃发展，可以显著提升电力系统的灵活调节能力，提升新能源的就地消纳水平。新型经营主体投资主体多元化，建设投产具有“短、平、快”的特点。在实践中，往往面临前期手续办理周期长、并网手续繁琐等情况。为鼓励业态发展，《意见》明确新型经营主体可豁免申领电力业务许可证，要求电网企业做好新型经营主体并网或平台接入等服务。

## 提出服从统一调度、满足安全运行等要求

电力安全保供是当前和未来较长一段时间的重要政治任务，新型经营主体投资主体多元化，运行维护水平参差不齐，必须做好场站调度子站设备配置、安全防护系统建设等工作，由电网调度机构统一监控管理，在电网紧急情况下，按照紧急控制指令发挥频率和电压调节能力。为此，《意见》在鼓励发展的同时明确了新型经营主体由电力调度机构统一指挥，具备可观、可测、可调和可控的功能特性，同时要满足信息网络安全防护要求。

高比例新能源电力系统对灵活调节能力提出了更高要求，一方面要挖掘现有的发电侧灵活调节能力；另一方面要依托新型经营主体全面激发用户侧的灵活调节能力，从源随荷动向源网荷储灵活互动转变。《意见》支持新型经营主体创新发展，鼓励虚拟电厂聚合分布式新能源、新型储能、可调节负荷等资源，为电力系统提供灵活调节能力。为避免规模太小难以有效发挥调节作用，同时兼顾新型经营主体起步发展阶段的现实情况，《意见》鼓励调节容量5兆瓦以上的新型经营主体提供电能量和辅助服务，对于具备条件的地区可适当降低调节容量要求。

## 鼓励参与电力市场，公平承担责任

截至目前，我国已初步形成在时间尺度上覆盖多年、年度、月度、月内的中长期交易及日前、日内的现货交易；在交易标的上覆盖电能量、绿色属性、容量、辅助服务、可再生能源消纳责任权重等交易品种；在交易空间上覆盖国家、区域/省市的多层次统一电力市场交易体系。在推动新能源参与市场交易的大背景下，《意见》明确新型经营主体具备独立市场地位，要求交易机构为新型经营主体设置注册类别，不得设置注册门槛，为新型经营主体规范参与电力市场提供了依据。《意见》还要求资源聚合类新型经营主体和被聚合资源均应办理注册手续，可实现全面细致的管理，同时考虑到缩短办理时间，鼓励资源聚合类新型经营主体集中办理注册手续。

当前，新型经营主体参与市场的交易和价格机制仍未理顺，在系统备用成本分摊、交叉补贴、辅助服务费用分摊、弃限电责任承担等方面存在诸多争议。《意见》提出完善适应新型经营主体的电力市场交易机制，在中长期市场引入分时段标准化交易产品，加快实现分时段交易结算；在现货市场推动新型经营主体以“报量报价”或“报量不报价”等灵活方式参与电力现货市场，探索电力现货市场出清节点向更低电压等级延伸；在辅助服务市场适时引入备用、爬坡等辅助服务新品种。

## 明确计量结算管理，完善组织保障措施

在当前各地区电力市场建设完善阶段，新型经营主体的计量结算机制还不够明确、不够规范，一定程度上制约了新型经营主体响应价格信号的能力。考虑到新型经营主体多接入低电压等级，采用覆盖范围更完善的电能量计量装置来进行结算更为便捷，电力交易机构应主要依托电能量计量系统，出具新型主体的结算依据。同时，为规范结算工作，避免出现争议和结算偏差，《意见》提出做好新型经营主体的计量结算工作，按照参与电能量和辅助服务交易类型，依据电能量计量装置进行结算，并由电力交易机构出具新型经营主体结算依据，对于资源聚合类新型经营主体，仍然要求电网企业能够清分结算到户。

构建适应新型经营主体特性的电力市场机制与配套政策体系，建立健全相关监管制度、技术要求和交易细则，是实现新型经营主体健康发展的必要保障。《意见》要求国家能源局及其派出机构、地方政府有关部门分别从各自职责出发，不断完善适应新型经营主体发展的市场机制、监督管理、技术要求以及交易细则等工作，持续规范新型经营主体电力市场交易行为，防止市场操纵。电网企业、市场运营机构等单位要做好技术支持系统建设。

《意见》的印发，必将进一步促进新型经营主体的规范有序发展，对于加快构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统意义重大。并将为新型经营主体参与电力市场特别是现货交易排除了障碍，具体实施过程中仍有可能出现一些新的困难和问题，期待市场参与方和电力同仁共同努力，进一步探索新模式新机制，共同推动新型电力系统建设实践。

（作者系水电水利规划设计总院副院长）

# 中科清能自主知识产权5吨/天氢液化装备下线

**本报讯**　河南中科清能科技有限公司自主知识产权5吨/天氢液化装备下线暨系列产品签约仪式日前在河南省巩义市隆重举行。中科清能自主知识产权5吨/天氢液化装备展现了其在技术上的复杂集成性、超高的真空度以及深低温下的严苛工作环境。

据了解，该设备由一系列精密组件构成，包括高精度除油系统、高速透平膨胀机、真空绝热系统、连续正仲氢催化转换换热器以及深低温精密测控系统。基于氦制冷工质的逆布雷顿循环技术，该产品技术成熟、自主性强，同时具备高安全性、可靠性、整体效率、高度自动化、精确测量控制以及制造集成化等显著优势。

河南省能源规划建设局党组书记、局长夏兴在致辞中表示，中科清能研制的5吨/天氢液化装备成功下线，突破了国外技术封锁，提升了我国液氢工业的自主可控能力。这标志着中科清能在发展历程中的重要成就，也是我国液氢技术进步的体现。省能源局将致力于提供氢能产业发展的政策支持，期望中科清能等企业继续创新，加强自主研发，为能源行业贡献智慧和力量。

河南投资集团有限公司党委副书记、工会主席侣洪恩表示，此次活动的成功举办，不仅展示了中科清能在氢能领域的技术实力和创新能力，也彰显了河南投资集团在新兴产业布局方面的前瞻性和战略眼光。未来，随着氢能产业的不断发展壮大，相信河南投资集团和中科清能将继续发挥引领作用，为推动我国氢能产业的蓬勃发展作出更大贡献。

巩义市市长张东辉在致辞中说，氢能是巩义绿色可持续发展的关键。未来，巩义将利用郑汴洛濮氢走廊郑州节点建设机遇，推进氢装备制造和应用场景建设，支持氢液化装备研发，加速光伏制氢项目建设，打造百亿级产业集群。同时，巩义诚邀企业家投资，市委、市政府将提供全面支持，确保投资环境良好。

中广核资本控股有限公司党委委员、副总经理梁开卷强调，氢能是未来我国能源体系的重要组成部分，而液氢作为国内当前氢储运环节的关键发展方向，其技术突破对于氢能产业发展至关重要。中科清能公司成功完成5吨/天液氢装备的自主研发，不仅打破了国外技术的垄断，更为我国氢能产业的蓬勃发展注入了新的活力。

合肥综合性国家科学中心能源院常务副院长胡浩民表示，中科清能凭借优秀团队、明确方向、股东支持、政府重视和技术领先五大优势取得显著成就。强调企业要强化技术研发、制定行业标准、共建液氢生态体系，以推动氢能产业的协同发展。

据悉，中科清能继2023年7月发布自主知识产权1吨/天氢液化装备以来，经过近一年半的不懈努力，于近期完成了5吨/天氢液化装备的研制，并成功研发出氦低温装备。　（张小宝）

# 国鸿氢能助力全国首艘氢动力集装箱船舶下水

**本报讯**　搭载中国产业发展促进会氢能会员单位国鸿氢能燃料电池系统的全国首艘内河64标箱氢燃料电池动力集装箱船舶“东方氢港”号成功下水。这是国鸿氢能在船舶领域打造的首个大功率重载项目，标志着国鸿氢能在交通领域创新应用又迈出了坚实的一步。

该艘内河氢燃料电池集装箱船舶，船长64.9米，宽12.6米，排水量约2000吨，载货64标箱，采用了2套国鸿氢能最新自研的鸿瀚C240氢燃料电池系统作为唯一动力源，完全绿色环保，零排放、零污染，续航里程约380公里。相比传统燃油动力船，该船每年可减少二氧化碳排放约700吨。

据悉，鸿瀚C240氢燃料电池系统是目前国内首次运用到船舶上最大的氢燃料电池，设计使用寿命超过3万小时，可在10秒内实现快速启动并对外输出功率，稳定性高，环境适应性强，能够轻松应对航行中的摇摆、盐雾及EMC环境，保障船舶的安全与稳定。

作为全国首艘内河氢能集装箱船，“东方氢港”号计划于明年用于浙江嘉兴乍浦港区到杭州下沙港内河运输航线开展运营示范，打造全国首条绿色氢能内河集装箱运输专线。它的成功下水，将引领氢能源动力船舶关键船用设备标准的制定，推动氢能船舶在内河集装箱运输场景的商业化运营模式的探索，助推规模化发展。

当前，国家深入推进绿色低碳产业发展，为新能源船舶行业带来前所未有的机遇。氢能因其清洁、高效、可持续的特性，逐渐成为船舶行业绿色发展的重要方向，在国家能源转型的大布局中占据重要地位。国鸿氢能将以“东方氢港”号的成功打造为契机，充分发挥产业链链主作用，整合产业链上下游优质资源，持续深化在氢能船舶应用场景的研发与制造，不断拓展氢能船舶运输场景的商业化运营，为我国水运装备绿色发展强势赋能。　（陈学谦）