

业内专家认为——

## 融通共链成为海上风电产业发展的“加速器”

◎本报记者 何亮  
通讯员 但祿瑶 刘佳

从渤海湾到山东半岛,从长三角到北部湾,我国海上风电可开发量巨大。国家气候中心最新数据显示,我国海上150米高度、离岸200公里以内且水深小于100米的风能技术可开发量约为27.8亿千瓦。其中,近海风能资源技术可开发量约15.5亿千瓦,深远海风能资源技术可开发量约12.3亿千瓦。

“发展海上风电已成为我国加快经济社会全面绿色转型的重要方面,海上风电走向深远海是必然趋势。”在近日召开的2024海上风电现代产业链共链行动大会上,中国可再生能源学会风能专业委员会高级顾问杜广平说,2030年后,我国绝大部分海上风电项目将位于领海线以外的专属经济区海域。

在业内人士看来,推动海上风电产业进一步发展壮大,融通共链是关键。“加速器”,应通过加强产业链上下游企业之间的合作与协同,实现资源共享、优势互补和成本降低,从而推动海上风电产业的高质量发展。

## 基地化集群发展

海上风电产业具有链条长、关联度大、辐射范围广等特点。“实现产业链共链,可以提高产业链资源利用率。”三峡集团科学技术研究院副院长杨定华说,融通共链有利于促进风机型号规范化、机组零部件标准化、额定功率谱优化,在确保风电机组安全的前提下降低投资成本和运维成本。

2022年,国家发展改革委等九部门发布《“十四五”可再生能源发展规划》,提出加快推进海上风电集群化开发,重点建设山东半岛、长三角、闽南、粤东和北部湾五大海上风电基地。这意味着,海上风电产业链将依托产业生态体系向基地化集群发展。

在江苏,依托三峡集团江苏响水近海风电场,盐城市汇集了多家风电整机和零部件头部企业,95%的风机零部件在江苏省内实现集成供应,形成“3小时供应链”;在广东,海上风电开发助力阳江打造全产业链一体化的广东(阳江)国际风电城,22家风电产



图为辽宁大连庄河海上风电项目。新华社记者 杨青摄

业链上下游企业落户阳江,基本涵盖风电装备制造全产业链……据中国可再生能源学会风能专业委员会统计,我国拥有全球最完善、成本最优的风电产业全套产业链供应链,全球风电叶片、齿轮箱、发电机等零部件,60%至70%在中国生产制造。

有了完整的产业链支撑,海上风电发展还需不断克服技术难题。中交第三航务工程局有限公司副总工程师时蓓玲认为,面对“深远海”和“大容量”的发展趋势,海上风电工程施工技术的创新要多路齐头并进,走智能化施工之路,确保海上施工精准控制;走运装一体化之路,通过集约化施工提升效率;走精细化勘测之路,优化勘查技术与数据评价标准。

杨定华认为,人工智能技术将给海上风电发展带来新机遇。“我们倡议共建海上风电大数据中心,建立数据要素融合流通机制,打造海上风电研发与应用的全新模式;构建海上风电全生命周期数字孪生数据与技术体系,促进海上风电全产业链技术更新迭代,进一步增强海上风电产业链韧性,实现自主可控。”杨定华说。

## 打造海上能源岛

随着人类活动向深远海挺进,海洋能

源的开发利用也在向纵深发展。

立体融合开发让海洋不仅能成为提供绿色电力的“电厂”,还能成为“牧场”“水厂”“氢能站”等资源供给站。2019年,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于统筹推进自然资源资产产权制度改革的指导意见》,要求探索海域使用权立体分层设权。2023年印发的《国家能源局关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》提出,探索推进具有海上能源资源供给转换枢纽特征的海上能源岛建设。

三峡集团上海院副总经理彭亚认为,水上水下的资源应实现空间立体开发,还要利用海上风电形成的多功能平台实现结构资源的联合利用,同时耦合不同海洋资源的生产时序以保障能源稳定供应,并借此构建起跨行业的产业链。

作为深远海探测的跳板和海上风电融合开发的典型场景,海上综合能源岛已成为构建能源互济系统、延伸新能源产业链和建设零碳经济体系的重要载体。彭亚介绍,三峡集团上海院正在围绕能源岛开展关键技术和设计方案的探索,形成四种能源岛模式。下一步,三峡集团上海院将针对关键技术发力,在选址、设计、建设、运行等全生命周期环节上打造能源岛的样本方案。

明阳智慧能源集团股份有限公司则致力

于海洋综合能源开发模式探索,在“海上风电+海洋牧场”融合发展方面逐步形成方案设计能力、装备研发设计能力和项目建设能力。“公司正在实施‘海上风电+氢+氨+醇’‘风光储氢一体化’的场景创新解决方案,以实现以减碳为目标的绿能转换。同时,海洋牧场里还可以通过设置漂浮式网箱来养鱼。海洋将为我们提供绿色氢气、电力、淡水 and 蛋白质,这是我们对未来海洋的畅想。”该公司副总裁叶凡说。

## 开拓国际市场

2009年,国内风机厂家首次“出海”。截至2024年上半年,我国整机厂家的风电机组已销售到世界各地,总装机容量约为100万千瓦。

杜广平介绍,2023年,全球12家风电机组制造商共安装了1120台海上风电机组,排名前五的制造企业中有3家是中国企业,排名前十的制造企业中多达7家是中国企业。

我国已成为全球最大风电机组生产基地,不仅拥有全球领先的风机制造基地,还是最大的关键零部件产供中心。“目前,除中国以外,全球其他国家和地区的风机产能远不足以支撑未来的海外市场需求。”杜广平说。

尤其是供应链紧张、船运成本增加等因素影响,一些国际头部风机厂商开始进行战略性收缩,在新机型开发上也放慢了节奏。而国内厂商凭借整体的供应链优势、产品创新的显著进步、强大的工程能力,正获得越来越多海外客户认可。杜广平认为,未来我国风机在全球主要风电市场的份额将逐步提升。

“我国风机企业在开拓国际市场时,应该充分发挥企业间的协同效应,与产业链相关企业建立战略合作关系,带动制造业产能提升,实现携手‘出海’、互利共赢。”国投电力控股股份有限公司国际事业部主任杜玉宝在分享海外项目建设经验时说,“我们始终认为,高质量的产业链体系能保障投资的资金安全,确保海外投资的持续回报。随着我国海上风电技术的发展,我们希望越来越多中国产业链元素走向海外,走得更好更远。”

建议,发展海上风电产业,需要提升基础制造业工艺水平,提高风电电子芯片智能化程度,支持风电行业公共验证平台建设,鼓励推广“风电+多种产业”的融合发展模式。

舒印彪建议,未来,海上风电产业应创新产业融合模式,加强核心技术攻关,深化产业协同发展,形成具有国际竞争力的产业集群。

作为此次大会主办方之一,我国海上风电现代产业链牵头建设单位,三峡集团将继续深入实施“海上风电引领者”战略,以规模开发提升产业引领力,以技术攻关提升产业创新力,以融合发展提升产业带动力,引领带动上下游企业共建新机制、共筑新基础、共享新成果、共创新生态、共谋新发展。

## 海上风电技术链产业链需进一步完善

◎本报记者 付丽娟

2024海上风电现代产业链共链行动大会近日召开。多位与会专家认为,我国海上风电产业发展机遇与挑战并存。

会上发布的数据显示,我国海上风电产业发展势头强劲:今年我国海上风电装机容量有望突破4500万千瓦,将连续4年位居全球首位。今年前三季度,我国海上风电新增并网容量247万千瓦,累计并网容量达到3910万千瓦,超过第2至5名国

家海上风电并网容量总和。

海上风电是风电技术与海洋工程技术深度融合的战略性新兴产业。中国工程院院士、中国电机工程学会理事长舒印彪介绍,目前,我国已形成较为完整的海上风电技术链、产业链,涵盖开发设计、生产制造、施工建设、运维管理等,海上风电机组整机国产化率超90%,风机叶片、齿轮箱等产品畅销海内外。

专家认为,海上风电产业链也面临供应链韧性有待提高、原创技术和前沿技术策源不足等挑战。例如,在风电机组设计

研发环节,柔性叶片翼型、气动特性等领域的基础研究亟待突破,机组设计软件的设计开发能力有待提升。在海上并网与输电环节,远距离输电技术相关基础研究尚需完善,高压柔性直流海缆、动态海缆技术水平仍需提升。

中国工业经济联合会党委书记、执行副会长熊梦说,与国际先进水平相比,我国在大容量风机、远距离输电、深远海施工运维等领域,在核心部件、关键技术装备研发和批量制造方面还存在差距。

中国电力企业联合会秘书长郝英杰

## 智能技术“钻”出页岩油钻井新纪录

◎本报记者 王延斌 通讯员 李亚男

短短29天内,中国石化胜利石油工程公司(以下简称“胜利石油工程公司”)70169SL钻井队成功钻探至井深6080米,刷新了页岩油钻井纪录。胜利石油工程公司页岩油钻井钻得深、打得快,“钻井液智能坐岗系统+智能钻头”功不可没。

## “AI泥浆工程师”显身手

在开采页岩油的过程中,如果钻井时

施加的压力太大,达到地层的承受极限,就会导致地层破裂,出现井漏;而如果压力不够,地下的油、水或气体会流出来,形成溢流。在控制井内压力方面,钻井液发挥着至关重要的作用。钻井液对于钻井,就像血液对于人体一样重要,被称为“钻井的血液”。通过调节钻井液的密度和性能,可以平衡地层压力,应对复杂地质条件,提高钻井效率。

然而,钻井液的密度控制是个难题。胜利石油工程公司钻井专家路峰介绍,过去,工作人员往往根据老师傅的经验进行钻井液密度的调配,极易因为习惯、疏忽等

因素出现问题,并控安全管理的压力特别大。“现在,钻井液智能坐岗系统能及时、准确告诉我们溢流和井漏情况,给现场的工作人员提供重要数据,确保施工安全。不同地质地层的情况,也会被系统记录下来,当再次遇到类似情况就可以作为参考,既节省人力又提高效率。”路峰说。

“钻井液智能坐岗系统好像在钻井现场打造的一个‘AI泥浆工程师’。它不知疲倦,能24小时精确无误地工作。”胜利石油工程公司70169SL钻井队泥浆组长刘岩岩说,它能实时捕捉到地层的泥浆工程师无法直接观察到的施工情况,帮助工程师更好掌控全局,确保安全。

## 智能钻头成为“千里眼”

钻井作业过程中,不仅需要能实时捕捉施工情况的“工程师”,还需要能对深层地层状况做出精确判断的“千里眼”。智能钻头就是这只“千里眼”,它不但能感知地层信息,还能通过智能算法对其进行分析处理。

胜利石油工程公司智能钻头项目负责人黄哲介绍,国际上的智能钻头产品主要有探管式和偏置式两种设计思路,但这两种思路都不完美。探管式测量的缺陷在于它虽然能测运动参数,但无法准确感知钻头的受

力和钻压、扭矩;偏置式测量在复杂环境中难以准确区分和解密各种应力和力矩。

黄哲下定决心:要研发国产智能钻头。经过艰苦攻关,黄哲团队解决了两大难题。一是设计测量,二是数据推算难题。

在设计方面,团队提出了棱柱式阵列结构。黄哲介绍,在棱柱的轴向上,将相对位置的传感器进行垂直方向的翻转布局,就能在数学层面实现传感器测量结果的相互独立,有效避免干扰。这种全新设计思路,成功融合了空间与平面设计的优势。

在数据推算方面,团队运用多种方法提升推算准确性。引入随机噪声测试时,黄哲发现算法在转速求解上受噪声干扰大,这是因为算法中没有考虑各物理参量间的内部联系。于是,团队引入物理约束校正数据,显著降低推算误差。

“我们还仿照鸟群捕食信息共享策略,建立了多目标的钻井参数方案评价模型,可以快速高效收集共享信息。钻井时,工作人员可以通过钻前分析和钻时校正,为全自动钻机提供钻进最优参数路线,规避井下风险,提高钻井效率。”黄哲说。

黄哲团队研发的智能钻头已在胜利工区开展现场应用。智能钻头在钻井提速优化、T型井轨迹测量、钻井风险分析与科学钻井决策等场景中,取得了较好应用效果。

## 新看点

## 我国首个

## 海上多层稠油热采开发项目投产

科技日报讯(记者操秀英)12月13日,记者从中国海油获悉,我国首个海上多层稠油热采开发项目——锦州23-2油田开发项目顺利投产,标志着我国海上稠油进入规模化热采开发新阶段。

专家介绍,稠油因为黏度大、流动性差,开采难度大、成本高,多年来一直是人类“可望而不可即”的黑色宝藏。尤其是海上油田不能像陆地油田那样布置密集的井网,想要将稠油从海底地层提升到地面再完成输送,对采油技术、流程处理、海管外输等都提出了极高的要求。

锦州23-2油田位于渤海辽东湾北部海域,平均水深约13米,主要生产设施为新建的两座中心处理平台,计划投产开发井67口,预计高峰日原油约2600吨。此次投产的热采中心平台,投影面积近4500平方米,是迄今为止我国建造的最大海上稠油热采平台。

中国海油天津分公司辽东作业部主任工程师罗少锋介绍,锦州23-2油田是多层砂体稠油藏,地下多层稠油储层薄厚交织,如“千层饼”一样,使用常规技术难以开发。中国海油采用热采定向开发模式,用单井连通多层,像“糖葫芦”那样将储层串起来,通过“蒸汽吞吐+化学辅助蒸汽驱”降低原油粘度,大幅提高油田采收率。

数据显示,在世界剩余石油资源中,约有70%都是稠油。持续、有效、经济的稠油开发成为各国石油增产的主攻方向。作为世界四大稠油生产国之一,我国稠油资源量约有198.7亿吨,现已探明35.5亿吨,开发潜力巨大。仅在渤海海域,稠油储量就占原油总探明储量的近一半。

中国海油天津分公司党委书记、总经理刘小刚介绍,渤海油田目前的非常规稠油探明地质储量超6亿吨,是油田实现增储上产的重要组成部分。作为我国海上首个多层稠油热采油田开发项目,锦州23-2油田的成功投产,将有效推动我国海洋石油工业稠油开发技术进步,提高稠油储量动用能力,对渤海油田2025年上产4000万吨具有重要意义。



图为锦州23-2油田中心处理平台。受访单位供图

## 新能源无人机巡检技术应用教材发行

科技日报讯(记者刘园园)记者12月12日获悉,由中国广核新能源控股有限公司(以下简称“中广核新能源”)编写的《新能源电力无人机巡检技术应用》日前正式出版发行。这是我国首本用于指导新能源行业无人机巡检工作的技术应用教材。

该教材将无人机相关法律法规、技术知识与新能源行业巡检作业技术要点相结合,首次提出了新能源行业无人机巡检的流程和要求,以及无人机巡检安全操作指引,为规范、高效开展无人机巡检工作提供切实可行的方法和思路。

“为帮助读者更直观地掌握无人机全流程作业,教材编委会将风电机组巡检分为6个步骤,光伏组件巡检分为10个步骤,架空线路巡检分为16个步骤,并提供了丰富的设备图片、设备界面图例、数据平台页面截图以及相关案例。”中广核新能源副总工程师成和祥介绍。这本教材还系统梳理了无人机巡检能够识别的典型故障,以便巡检人员快捷高效地识别处理。例如,教材从表面裂纹、纤维层破损、表面腐蚀、叶片变形等方面剖析了风机叶片典型故障,并提出了处理意见和标识、记录建议;同时,以图片形式展示了光伏组件二极管故障、内部缺陷、表面污迹、组件破损等10种故障类型,并提出了处理措施。

“过去,我们使用无人机巡检时,在规划航线、故障诊断以及分析报告生成等工作上,都要依靠巡检人员现场经验,并且要经过多次试错才能有效开展工作。有了这本教材,我们可以直观全面了解无人机在新能源行业各个业态的应用场景,能更加系统地掌握无人机巡检流程和要点,有效提升光伏电站自主运维能力和效能。”中广核新能源青海分公司德令哈烟塔光伏电站运维检修人员李春发说。

## 三峡首条外送输电通道输送电能超2500亿千瓦时

科技日报讯(记者金凤)12月12日,记者从国网江苏省电力有限公司获悉,三峡首条外送输电通道——±500千伏龙泉至政平直流输电工程(以下简称“龙政直流工程”)已累计向长三角地区输送绿色清洁电能2542亿千瓦时。这相当于南京市2023年全社会用电量的近3倍,能够满足6753万户家庭一年的用电需求,可替代发电用煤约0.61亿吨,减排二氧化碳1.63亿吨。

三峡电站是世界装机容量最大的水电站,也是我国“西电东送”和“南北互供”的骨干电源点,年设计发电量882亿千瓦时。龙政直流工程是三峡水电外送的第一条输电通道,西起湖北省宜昌市龙泉换流站,东至江苏省常州市政平换流站,全长860公里。2003年,龙政直流工程建成,开创了全国跨省清洁能源输电的先河,也为能源资源匮乏的长三角地区带来了新的解决方案。

国网江苏省电力有限公司调度控制中心系统运行处处长刘林介绍,自龙政直流工程投运以来,每年可稳定向长三角地区输送清洁电能超100亿千瓦时,占三峡电站年发电总量的八分之一,在优化东中部能源电力结构和保障电力供应、促进经济社会协调发展等方面发挥了重要作用。

刘林说,截至10月底,江苏今年累计消纳区外电能约1467亿千瓦时,其中清洁能源比例达54%,相当于为江苏非化石能源消费比重的提升贡献了大约6个百分点。



胜利石油工程公司工作人员正使用钻井液智能坐岗系统。

受访单位供图