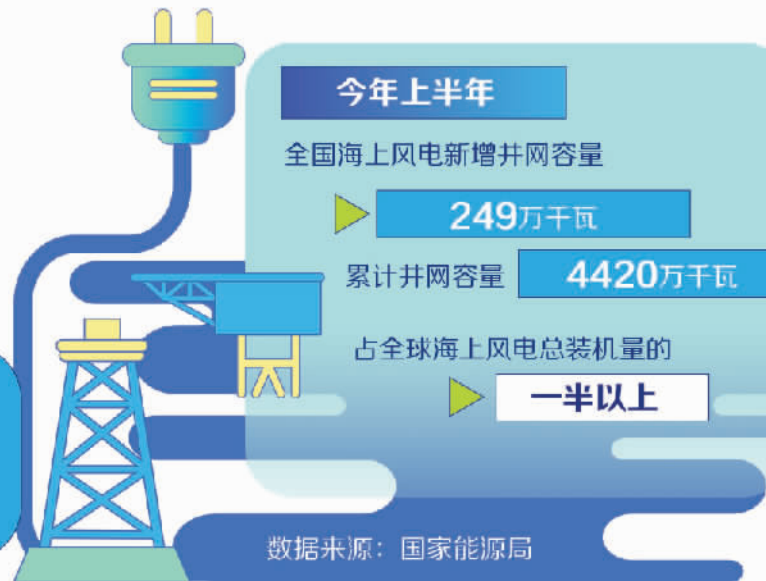
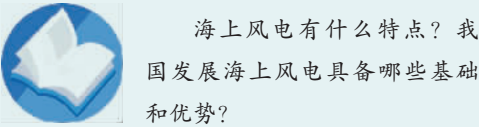


推动海上风电规范有序建设

海上风电是清洁能源的重要组成部分。我国海上风能资源丰富,大力发展海上风电,对保障能源安全、加快绿色低碳转型以及推动海洋经济高质量发展具有重要意义。今年上半年,我国海上风电累计并网装机容量4420万千瓦,占全球海上风电总装机量的一半以上。7月召开的中央财经委员会第六次会议强调,要做强做优做大海洋产业,推动海上风电规范有序建设。本期特邀专家围绕相关问题进行研讨。



强化顶层设计注入绿色发展能量



海上风电有什么特点?我国发展海上风电具备哪些基础和优势?

林卫斌(北京师范大学经济与工商管理学院教授、中国能源研究会能源政策研究室主任):海上风电指通过在沿海多年平均大潮高潮线以下海域建设风力发电场,利用丰富的海上风能资源产生电能的发电方式。根据所在海域水深及离岸距离的不同,海上风电场可分为潮间带风电场、近海风电场、深海风电场和远海风电场。

发展海上风电对推动我国能源结构调整、增加能源供应、保障能源安全以及实现“双碳”目标意义重大。我国拥有超1.8万公里大陆海岸线,可利用海域面积超300万平方公里。海上150米高度、离岸200公里以内且水深小于100米的海上风能资源技术可开发量约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。

相较于陆上风电,海上风电具有诸多优势。一是利用效率高。海上风速通常比陆地高20%,风机单机容量大,年平均利用小时数超2500小时,最高可超4000小时。二是靠近负荷中心。我国大部分能源资源分布在西部地区,而中东部地区负荷需求约占全国的70%以上,海上风电可发展区域主要集中在东部沿海地

区,方便就近消纳。三是资源环境影响小。海上风电场远离陆地、人群,不占用宝贵的土地资源,避免了噪声污染等对居民生活的影响。

近年来,国家不断强化顶层规划和政策设计,推动海上风电健康有序发展。2022年,国家发展改革委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》,提出鼓励建设海上风电基地,推进海上风电向深水远岸区域布局。同年,国家发展改革委等部门印发《“十四五”可再生能源发展规划》,提出在东部沿海地区积极推进海上风电集群化开发。2024年,国家能源局印发《2024年能源工作指导意见》,明确统筹优化海上风电布局,推动海上风电基地建设,稳妥有序推动海上风电向深水远岸发展。同时,国家积极推进海上风电降本增效,开展平价示范。财政部、国家发展改革委印发《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》,明确2022年起新增海上风电项目不再纳入中央财政补贴范围。为保障过渡,广东、山东等地相继出台省级补贴政策,通过差异化补贴引导产业链降本增效。2025年,国家发展改革委、国家能源局出台《关于深化新能源上网电价市场化改革 促进新能源高质量发展的通知》,提出坚持市场化改革方向,推动新能源上网电量全面进入电力市场、通过市场交易形成价格,海上风电市场化转型全面加速。

在一系列政策举措的有力引导下,海上风电不断向大规模、市场化、高质量方向发展,并持续领跑全球。2024年,我国海上风电新增装机超400万千瓦,占全球海上风电新增装机容量的一半,连续7年居

世界首位。

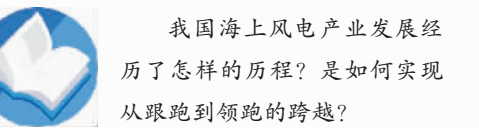
我国发展海上风电最大的优势在于强大的制造能力。我国已形成能够支撑每年新增千万千瓦装机的完整产业链,在风电机组以及叶片、齿轮箱等关键部件产能上,占全球市场的比重均超60%。2024年10月,我国拥有自主知识产权的全球最大的26兆瓦级海上风力发电机组在福建下线,目前已在山东海域开始吊装。今年7月,17兆瓦直驱型漂浮式海上风电机组在福建下线,这是目前已下线的全球单机功率最大、风轮直径最大的直驱型漂浮式海上风电机组。

还要看到的是,我国海上风电发展仍面临用海矛盾较为突出、海域资源利用效率有待提升、开发运维成本有待降低、海风利用模式有待探索等短板弱项。要强化协同集约、降本增效,推动海上风电规范有序建设。

一方面,坚持集群化开发、集中送出。避免各自建设送出通道的粗放式送出,通过联合投资、联合运维和集中送出节约紧缺的送出通道资源、降低成本。构建“集中连片开发—母港集中供应——一体化高效施工”组织模式。探索“海上风电+”融合发展,深化与海洋牧场、海水制氢等新业态结合,以“能源—产业—生态”协同发展推动海洋综合开发和利用,持续释放生态、经济、社会等多维价值。

另一方面,强化技术创新与成本控制。加大对关键部件及原材料国产化研发的政策支持和资金投入,在基础设计、输电技术、施工工艺等方面开展多学科联合研究,推动技术创新与应用,提升大容量机组可靠性,突破深远海风电技术瓶颈。推动设备制造企业通过技术创新、规模化生产进一步降低成本。推行长周期一体化运维模式,激励运维商主动投入先进技术、优化策略,在区域协同与资源共享方面破除壁垒。

海上风电产业实现跨越式发展



我国海上风电产业发展经历了怎样的历程?是如何实现从跟跑到领跑的跨越?

时璟丽(中国宏观经济研究院能源研究所研究员):我国海上风电产业发展大体可分为三个阶段。

一是试点探索期。2007年,中国海洋石油集团有限公司在渤海绥中海域竖立起国内第一台海上风电试验机组,单机容量1.5兆瓦,拉开了我国海上风电开发的序幕。2010年,我国首座海上风电场示范工程,也是亚洲首座大型海上风电场的上海东海大桥海上风电场正式并网发电,标志着我国在海上风电建设技术方面取得突破。同年,国家能源局、国家海洋局制定《海上风电开发建设管理暂行办法》,并启动海上风电特许权项目招标,开发沿海风电资源步伐逐步加快。

二是规模发展期。2014年,我国出台近海风电和潮间带风电标杆电价政策,使得投资海上风电的收益预期更加明确。同时,国家层面开展海上风能资源勘测和评价工作,主要沿海省份相继制定“十三五”海上风电发展规划,海上风电进入规模化发展阶段,装机规模逐年扩大。2020年底,全国海上风电累计装机899万千瓦。2021年,海上风电异军突起,全年新增装机1690万千瓦,新增装机和累计装机跃居世界第一。在这期间,海上风电单机规模和单场规模不断扩大,在不同离岸距离和水深、各异海床条件、低温地域和台风区域均有近海风电项目建成发电,除核心的风机机舱应用,在桩基基础、施工装备和能力、升压站建设、海缆集中送出、运行管理等方面均取得显著进步。

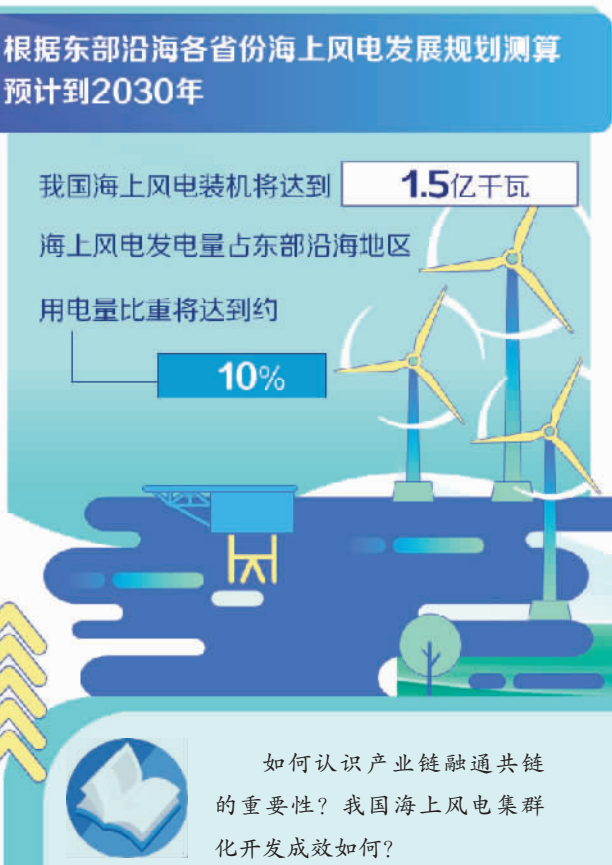
三是全面发展期。2022年,新并网投运的海上风电项目国家电价补贴完全退出,海上风电自此全面实现平价和低价上网,向有序、高质量、融合发展方向迈进。在推进实现“双碳”目标、加快构建新型电力系统部署下,发展海上风电,以绿色低碳电力支撑沿海地区经济发展的重要性凸显。我国明确集约用海和生态用海原则,统筹协调海上风电项目空间布局,以基地集群开发方式布局和规划建设近海风电项目。启动深远海风电示范和漂浮式海上风电机舱应用,融合储能、制氢、海水淡化、海洋养殖等需求综合开发和建设海上能源岛。海上风电产业取得长足进步,装机规模稳步增长。截至今年6月底,海上风电累计装机4420万千瓦,超过全球一半,在国内全部风电装机中占比7.7%。海上风电发电贡献显著

增大,今年上半年发电量为528亿千瓦时,在全部风电发电量中占比9.0%。

海上风电市场规模扩大有效带动风电技术和制造业发展,技术和产业进步又为海上风电规模化发展提供支撑,形成政策、市场、产业的良性互动和循环,在国际上实现从跟跑到领跑的跨越。以风电整机制造为例,我国企业早期通过许可证方式引进整机技术,2010年东海大桥项目采用国内自主研发的3兆瓦海上风电机组,2019年至2021年建成并网的海上风电场以4兆瓦至7兆瓦机型为主,同期国外风电制造企业则推出10兆瓦至14兆瓦机组。2022年以来,国内企业以提质增效降本为目标,推进海上风机大型化和智能化发展。2024年,国内新增海上风电平均单机容量增至10兆瓦,全球平均水平为9.8兆瓦。

今年以来,海上风电整机进入重综合效益提升、重配套装备和产业链的阶段。今年8月,东方电气集团自主研发的全球最大26兆瓦级机组完成吊装,在年均10米/秒风速下,单台机组每年可输出1亿千瓦时清洁电能,标志着我国在高端装备制造领域实现重大突破。目前,我国海上风电已形成从开发设计、生产制造到施工建设、运维管理等方面的完整产业链。百米级叶片等关键核心部件技术持续突破,达到国际领先水平。在风机基础方面,针对我国海域多样的地质条件,研发应用高桩承台、导管架、吸力筒等多种基础型式。施工装备和配套能力方面,自主研发设计并交付包括安装平台、起重船、布缆船等多艘风电施工船舶,覆盖海上风电施工所需核心装备,2000吨级海上风电安装平台“白鹤滩”号和“大桥海风”号等投运,提升了我国海上风电施工能力。整机企业规模方面,截至2024年底,全球海上风电累计装机排名前10的整机制造企业中,我国占据6席。

同时,全产业链技术进步带来近海风电成本下降。2024年国内不含塔筒的海上风电整机均价不到2800元/千瓦,海上风电场单位投资大致在9000元/千瓦至12500元/千瓦之间,均较2020年降低50%左右。今年海上风电平准化成本已降至0.3元/千瓦时左右,相较于沿海地区电力市场价格,近海风电具有一定竞争力。随着近海风电资源逐步开发,我国海上风电将向深远海进军,部分省份开展国管海域海上风电开发招标。我国漂浮式海上风电机组进行样机试点,“三峡引领号”“扶摇号”等在“十四五”期间陆续投运。面向“十五五”,近海风电基地建设和深远海示范将并行发展,并以海上风电为牵引探索海洋能源融合发展新技术新模式新业态,引领全球海上风电产业潮流。



王霁雪(电力规划设计总院新能源产业发展研究院院长):截至2024年底,全球海上风电累计装机容量约83.2吉瓦,我国累计装机容量达43吉瓦,占全球市场份额50%以上。我国作为全球最大的海上风电市场,产业规模领跑世界。同时,随着项目向深远海加速拓展、技术复杂度上升,叠加电价补贴全面退坡,行业也面临成本激增与盈利下降的挑战。融通共链通过跨产业深度协同能有效分散风险、优化资源配置。

技术协同,跨产业借力打力。海上油气平台数十载积累的防腐抗压、深水安装技术,是海上风电基础结构的坚实后盾,两者在复杂多变的海洋环境挑战面前,共享着抵御风浪的智慧结晶。风电主轴轴承所需的超高精度与可靠性要求,与航空航天、精密机床领域异曲同工,协同攻关核心材料与制造工艺,能够节约研发成本,共同攻克“卡脖子”技术难题。风机内复杂的变频器、传感器与智能控制系统,底层逻辑与工业互联网、智能船舶领域相通,平台互通、技术共享将大幅提升海上风电智能化水平与运营效率。跨产业技术融合以乘法效应突破单点瓶颈,带动相关产业协同发展,推动海洋经济整体跃升。

资源复用,实现从专属向共用转变。风电大型部件的专用码头与重型吊装设备,通过适当改造可服务于大型海工装备制造或远洋运输,提升稀缺岸线资源与重型装备的利用效率。专业风电运维船舶与团队强大的海上作业能力和监测

在应对全球气候变化、推动能源转型的背景下,各国纷纷加快海上风电布局建设。其中,深远海区域拥有丰富的风能资源,成为海上风电未来发展的新蓝海。世界银行数据显示,全球可用的海上风能资源超710亿千瓦,其中深远海占比超70%,但目前开发利用率尚不足0.5%,潜力巨大。

欧洲国家探索深远海风电起步早,积累了较为丰富的实践经验。2009年,挪威建成全球首个漂浮式风电试验项目。能源咨询公司伍德麦肯兹发布的报告显示,截至今年8月,全球已并网的28万千瓦漂浮式风电项目中,欧洲国家装机容量占比84%,数量占比63%,主要分布在北海和地中海。英国与德国规划的海上风电项目90%以上位于深远海,英国提出2030年漂浮式风电装机500万千瓦目标,法国已在布列塔尼及地中海沿岸规划布局漂浮式风电,葡萄牙计划在大西洋深海海域部署首批漂浮式风电场。欧洲国家在多种技术路线、多元应用场景中实现突破和领先。已并网项目涵盖半潜式、单立柱、驳船式、张力腿式等多种浮式基础平台,并且正在探索铰接柱、模块化等新型浮式基础平台。

随着海上风电快速发展,用海规模不断扩大,我国海上风电开发利用逐步从近海向深远海区域拓展。我国深远海可开发范围广阔,资源丰富,且深远海风速更稳定,年平均风速可达9米/秒以上,发电小时数显著高于近海,适合大规模风电开发。我国积极推进深远海项目规划和开发,已建成“三峡引领号”“海油观澜号”“明阳天成号”等项目,累计装机容量4万千瓦,跻身全球第三位。同时,验证“玻璃纤维外壳+XPS芯材+防护涂层材料”浮筒设计技术可行性,进行漂浮式风电为油气平台供电、“漂浮式风电+海洋牧场”等新模式探索。目前,陆丰油田群清洁能源电力供给改造示范项目、广西钦州海上风电示范项目、华电阳江青洲三项目等在建,单机容量提高到16兆瓦及以上,中电建海南万宁百万千瓦漂浮式海上风电项目一期工程装机20万千瓦有序推进,计划今年底建成并网。

还需看到,深远海风电开发建设尚面临管理制度欠缺、技术经济性缺乏、用海用地要素保障趋紧、技术路线未收敛、融合发展模式较少等

拓展深远海风电开发

王震(中国海洋石油集团首席科学家、首席技术专家):我国海上风电产业,有拓展深远海风电开发利用,可从以下几方面着力。

规范政策监管。加快出台深远海风电开发建设管理办法,保持项目规划、用海审批等政策取向一致性,确保规划及时落地。针对海上风电与油气融合、风光波同场开发、“海上风电+海洋牧场/数据中心”等新模式新业态,深化“放管服”改革,简化项目审批流程,破解制度障碍。

坚持市场导向。新能源发电已全面入市,部分地方未对深远海风电单机制电价,投资回报难以匹配。可考虑实施电价单列机制,配套功能性产业政策,帮助漂浮式海上风电实现跨越式发展。

有序规划建设。兼顾市场与行政机制进行项目资源配置,由头部企业牵头集中连片规模化开发,避免一哄而上。推广风光资源普查试点成果,加快国家气象中心海上风电气象观测站网建设。鼓励沿海地区创新管理机制,对新增海上风电项目探索实行“净海出让”制度,与电网通道建设、区域电力供需、产业集群发展规划协同。推广南方电网阳江三山岛海上风电柔直输电工程模式,由电网公司统一规划建设集中送出走廊,或与油气生产岸电设施共享,缓解路由通道紧缺等问题。

加大技术研发。推动行业在重点发展方向上达成共识,形成技术路线图,开展多场景示范引领技术迭代突破。设立重大科技专项,打通科研支持、工程示范、企业产业化投资全链条,激发创新活力。有序推进无人化、智能化建设,提升风资源预测、智能运维、发电出力预测、交易策略优化能力。

提升产业协同。推动海洋能源资源综合利用,构建新模式新场景。上下游、跨产业协作维护供应链安全稳定,通过技术转化复用、码头仓储设施共用等方式,探索风电与绿色氢氨醇、船舶航运等产业融合发展,积极打造油气田周边集中式风电与油气开发生产融合发展示范区。

(作者系中国海油集团副总经济师兼能源经济研究院院长)

融通共链培育集群优化资源配置

设备,可为海洋环境调查、生态监测以及海上应急救援提供即时支持。为风电选址和运营量身打造的高精度海洋气象、水文数据库,是渔业捕捞、航运安全、海洋科研不可或缺的宝贵资源。通过跨产业资源协同,资产利用效率显著提升,成本大幅降低,实现产业价值多元化拓展。

海上风电这条以能源电力为核心,汇集海洋工程、高端制造、智能控制、气象服务以及生态修复的产业链,正以其长链条、高关联、强带动、广辐射的特质,成为海洋经济的重要支点。2022年,国家发展改革委、国家能源局等部门发布《“十四五”可再生能源发展规划》,明确提出重点建设山东半岛、长三角、闽南、粤东、北部湾五大海上风电基地,标志着我国海上风电开发迈入规模化、基地化发展的新阶段。在各项政策有力推动下,以五大基地为代表的海上风电集群建设加快落地实施、成效斐然,为海上风电产业高质量发展奠定坚实基础。

山东半岛基地立足北方,规模化开发成效显著,基地总装机容量580万千瓦,依托渤中、半岛南、半岛北项目群,建设风电装备制造产业园,成为引领我国北方海上风电发展的标杆区域。长三角基地以江苏盐城为核心,上海为技术前沿、浙江为制造枢纽,形成全球领先的海上风电产业集群。截至2024年底,长三角基地累计装机容量1840万千瓦,其中江苏省海上风电装机容量率先突破千万千瓦大关。粤东基地累计装机容量突破400万千瓦,占广东省总量的36%,汕头国际风电创新港建成40兆瓦

级实验平台,吸引龙头企业入驻。

海上风电规模化发展形成“技术突破—成本下降—市场扩张”的正向循环,显著推动技术进步和产业升级。规模化驱动技术创新,海上风机单机容量从早期的3兆瓦提升至20兆瓦级,叶轮直径突破250米,闽南基地率先实现国产16兆瓦超大容量机组批量化应用,全球首台26兆瓦国产化机组下线,发电效率提高30%以上。长三角基地的江苏如东海上风电柔性直流输电工程打破了欧洲柔性直流输电的垄断,解决了海上风电远距离输电难题,为海上风电规模化送出提供技术模板。规模化驱动产业升级,海上风电全产业链自主可控,国产化率超90%,关键部件如叶片、齿轮箱、发电机全球产能占比60%至70%,全球前10整机制造商中占7席,江苏盐城、广东阳江等基地实现“3小时供应链”,带动投资超200亿元。同时,规模化有利于实现集约用海以及集中采购、建设、安装和运维,降低全生命周期成本,长三角基地固定式基础海上风电项目造价已从1.5万元/千瓦降至1万元/千瓦以内。

集群化、基地化发展有效促进了海域资源的集约高效利用和立体化开发。装机规模跨越式增长、全产业链加速完善、技术创新持续突破、开发模式优势尽显,共同提升了我国海上风电产业的全球竞争力。未来,需进一步强化政策协同,加强技术创新和国际合作,推动我国海上风电从规模领先迈向质量引领,为加快能源结构低碳转型、实现“双碳”目标注入强劲动力。