

# 向深向远挺进 追风逐电大海

◎本报记者 何亮

不久前,拥有自主知识产权的全新一代18兆瓦海上直驱风电机组下线,成为目前已下线的全球单机容量最大、叶轮直径最大的海上直驱风电机组。而在2021年,海上风机最大单机容量还是16兆瓦。

值得注意的是,开启海上风机“18兆瓦时代”的整机厂商不止一家。中国东方电气集团有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、中国船舶集团海装风电股份有限公司等都在2023年公布了自主研发18兆瓦海上风机的消息。

将视野放至全球,中国海上风电迅猛发展的态势更加明显。《全球海上风电产业链发展报告》显示,我国海上风电机组产能占全球市场的60%,发电机产能占全球市场的73%。我国已成为全球海上风电累计装机规模最大的国家。那么,我国发展海上风能有何潜力?海上风能的开发有哪些技术路线?发展海上风能对于我国能源体系有何意义?带着这些问题,记者采访了相关专家。

## 我国海上风能资源较为丰富

“与陆上风能资源相比,海上风能资源丰富、储量大,可集中连片大规模开发。”长期从事风能研究的中国科学院力学研究所研究员杨晓雷告诉记者,海上的风能资源禀赋好,风速大、功率密度高。此外,风电场的建设需要大量的空间场地。而海洋面积广阔,没有地表障碍物限制,可不断向远向深开拓。

我国海上风能资源较为丰富,发展海上风电有特别的优势。杨晓雷介绍,一方面,我国近海和深远海,离岸200千米以内水深小于100米的海上风能可开发量巨大。另一方面,我国海上风电行业在制造、安装等领域都具有较强国际竞争力。

不仅如此,相比于陆上风电机组发出的电能,海上风电机组发出的电能到达沿海等高能需求地区的距离更短、成本更低,更适合大规模开发。福建、浙江、山东、江苏、广东等用电大省,正好都位于沿海地区。

我国海岸线绵长,大陆架面积大,岛屿众多,海上风能资源技术开发潜力超过3500吉瓦。如今,我国新增海上风电规模已位居全球第一,成为全球最重要的海上风电市场之一。在国家政策的支持下,国内多家海上风电企业都开始发力“向大海要能源”。

“应从两个方面认识海上风电的重要定位。”中国工程院院士、中国华能集团原董事长舒印彪说,“从战略角度,海上风电对实现碳达峰碳中和目标具有重要意义;在科技层面,风电各产业链技术是国际必争的制高点。”

## 海上风能开发有两条技术路线

风电机组从陆地走向海洋并非易事。随着离岸距离和区域位置的不同,自然环境变化非常复杂。在30多年的开发实践中,海上风电产业逐步形成近海风能和深远海风能开发两条技术路线。

在上海东海大桥海域,高大的海上风机已经在这里迎风旋转了近14年。“这是亚洲首座海上风电场,也是近海海域利用固定式基础开发风能的典型代表。”杨晓雷告诉记者。记者了解到,固定式基础是在水深较浅的海域,采用固定式的平台结构,将海上风机固定在海上的方式。在近海海域,海底结构稳定,风、浪、流的联合作用相对较小,采用固定式基础技术难度小、建设成本低,是海上风能开发的首选方案。

而离岸60多海里、水深超70米的深远海浪涌强劲,施工建设方无法将海上风机基础牢固地直插入海底。在这种海域,施工建设方选择用漂浮式基础,将风机拖浮在海



图为三峡集团海上风电机组。三峡集团供图

面上。在我国南海,一台高度超百米的海上风电机组屹立在三角结构的漂浮平台上。远远望去,巨大的叶片引人注目。这是全球首台抗台风型漂浮式海上风电机组——“三峡引领号”。它在2021年12月正式并网发电,标志着我国海上风电迈出了向深远海获取风能资源的步伐。

“与近海机组‘站立’在海底不同,风电机组及漂浮式平台通过锚系与海底链接,像不倒翁一样漂在海面上。”杨晓雷说,“让风机安全稳定地漂浮起来,需要综合考虑叶片空气动力学、风电机组控制、漂浮式平台的结构设计、海洋环境等多种因素,极具难度。”

目前,欧洲仍然是深远海域海上风电的先行者。欧洲市场已经完成建设漂浮式单立柱式风机20余台,半潜式风机10余台。多个海上风电强国也已在深远海域进行布局。在我国,除了“三峡引领号”,中国海装“扶摇号”、中国海油“海油观澜号”两个漂浮式海上风电平台也已并网发电。

## 积极推动第三代风能技术发展

由于具有运行效率高、输电距离短、不占用土地、适宜大规模开发等特点,我国相关部委和沿海多省份出台的能源规划中,都将海上风电作为未来的重点发展方向。

国家发展改革委等九部门联合印发的《“十四五”可再生能源发展规划》提出,要有序推进海上风电基地建设,积极推动深远海海上风电技术创新和示范应用,不断推进深远海海上风电降本增效,实现海上风电平价示范。

“发展海上风电对于我国能源体系具有重要意义。”杨晓雷告诉记者,发展海上风电,可以帮助我国实现能源结构的多元化,减轻对化石能源的依赖,提高我国能源安全性和可靠性,带动相关产业的发展,为经济增长注入新动能。与此同时,海上风电符合可持续发展战略的要求,能推动绿色低碳发展和生态文明建设。

但是,作为技术密集型的高技术产业,我国海上风电,特别是深远海风电的开发仍然面临诸多难题。比如,海上的恶劣条件会对设备和系统带来较大挑战。我国在海上风电的施工、运维等环节还存在一些不足。

杨晓雷认为,海上风能技术是风能技术前沿。他建议,要积极推动以场级控制为目标的第三代风能技术的发展,加快围绕风能波动、间歇特性等相关理论、方法组织基础研究,推进相关核心技术取得突破。同时,加强研发海上风电制氢、海水淡化等技术,促进海上风能的规模化综

合应用。浩瀚海洋,风起电至。未来,中国的“大风车”将在更广阔的海域安家落户,继续化海风为能源。

## 相关新闻

### 广西首条海上风电能源通道投运

科技日报讯(陆冬琦 熊秋月 本报记者刘昊)记者2月23日获悉,广西壮族自治区首条海上风电能源通道——广西电网220千伏海上风电送出线路于日前正式送电投产。

据了解,2023年6月,广西首个海上风电示范项目——防城港海上风电示范项目A场址全面建设。同步拉紧“进度条”的还有由南方电网广西电网公司投资建设的广西防城港海上风电示范项目A场址配套220千伏送出工程。该工程于2023年8月正式开工,在施工高峰期投入超130名施工人员开展项目攻坚。

南方电网广西防城港供电局建设管理部(项目管理中心)经理韦锶丁介绍:“我们安排不同施工点各工序同步开展施工,抢抓工期,于1月13日实现全线贯通,为广西首个海上风电示范项目的顺利投运提供有力支撑。”据悉,广西防城港海上风电示范项目全部建成投产后,将通过能源通道输送超50亿千瓦时清洁能源,可满足近500万户家庭的基本用电需求。

“南方电网广西电网公司加快电网规划建设,搭建清洁能源输送‘高速路’,全力服务广西清洁能源快速发展。”南方电网广西电网公司战略规划部总经理张宁说,“下一步,我们将继续做好防城港海上风电示范其余项目和钦州海上风电示范项目220千伏送出通道建设,同时开展广西深远海海上风电统一送出规划研究及相关前期工作,推动广西海上风电集约化规模化发展。”

据悉,清洁能源项目配套电网工程建设是清洁能源“应开尽开、应并尽并、能并早并”的重要保障。数据显示,2023年,南方电网广西电网公司累计完成4项清洁能源项目配套电网工程,投运500千伏凤凰岭变电工程等90余项主电网工程,累计投产线路1293千米,变电容量785万千瓦,确保清洁能源接得上、送得出、用得稳。

根据《广西能源发展“十四五”规划》,广西将在“十四五”期间打造北部湾海上风电基地。规模化、集约化发展海上风电,重点推进北部湾近海海上风电项目开发建设,积极推动深远海海上风电项目示范化开发,统筹规划外送输电通道建设。“十四五”期间,广西核准开工海上风电装机750万千瓦,力争新增并网装机300万千瓦。

## 新看点

### 四川盆地盆缘发现新页岩气规模富气带

科技日报讯(记者操秀英)2月23日,记者从中国石化获悉,中国石化部署在重庆市綦江区的重点预探井——丁页11井在五峰组一龙马溪组页岩获高产页岩气,日产气20.45万立方米。这意味着中国石化在四川盆地又发现了一个新的规模增储富气带。

据介绍,綦江页岩气田是我国在盆缘复杂构造区发现的首个中深层—深层页岩气大气田。2022年,中国石化提交首期丁山区块探明地质储量1459.68亿方,目前正在积极建产。此次获得高产页岩气的丁页11井,位于四川盆地盆缘复杂构造浅埋藏带。该区域靠近大断裂,地质构造复杂,页岩含气性差,业内普遍认为勘探潜力小、商业发现价值低。2022年以来,中国石化勘探分公司在此区域开展了千余项分析测试,综合分析储层性质和断层构造,得出了不一样的结论。公司认为,发现目标区具有良好页岩气勘探潜力,并成功部署预探井丁页11。

丁页11井所处的区域断层和裂缝发育程度高,构造地层倾角大。中国石化勘探分公司通过地质—物探—工程一体化攻关,精确刻画了优质页岩“甜点”区(即页岩气富集且易于开发的区域)。同时,中国石化勘探分公司探索形成的压裂工艺技术可以在井周有效形成复杂缝网,助力实现丁页11井高产开发。

据悉,中国石化将持续做好试采工作,进一步落实产能,深化油气富集规律认识,尽快实现规模增储上产。

## 垃圾场变身光储电站

科技日报讯(洪恒飞 陈震扬 记者江耘)2月23日,记者从国网杭州供电公司获悉,由该公司建设的杭州天子岭垃圾填埋场光储一体化项目一期近日建成投运。项目预计20年运营期内总发电量3303万千瓦时,年均发电量165.15万千瓦时,相当于年均减排二氧化碳1141吨。

相关研究认为,由于垃圾填埋场选址普遍集中在城郊,光照充分且占地面积大,封场初期的土地适宜建造光伏电站。位于杭州北郊的天子岭填埋场于1991年投入使用,2020年12月结束填埋作业。杭州天子岭垃圾填埋场光储一体化项目采用的自发自用、余电上网模式,将为该地区生态恢复提供绿色电能。

去年9月,国网杭州供电公司下属的综合能源服务公司承接天子岭垃圾填埋场光储一体化项目,开展储能电站、光储项目电力配套设施等施工建设工作。

“项目建设过程中,我们克服了地下管道密布、山体斜坡倾角大、厂区防火安全等级高、生态恢复要求高等挑战,历时4个多月建成投运一期项目,为全国同类站场利用提供新的发展思路。”国网(杭州)综合能源服务公司项目负责人陈乔说,项目一期光伏电站装机容量1.9兆瓦,储能电站储能容量0.4兆瓦时,充放电功率0.2兆瓦。

相关研究论证,基于垃圾填埋场建造的光伏电站,在运营期间不受填埋场气体的影响,只需少量维护光伏组件支架及基础即可适应场区地表的沉降。电站寿命期结束后可以被整体移除,将土地恢复到自然状态。

陈乔介绍,该项目二期光伏电站装机容量4兆瓦。项目全部建成后,将成为全国最大的垃圾填埋场光储一体化项目。



图为杭州天子岭垃圾填埋场光储一体化项目一期现场。姜家宝摄

## “电力天路”青藏联网工程双向累计送电超200亿千瓦时

科技日报讯(记者张鑫 通讯员谢莉蓉 姚晓英)2月23日,记者从国网青海省电力公司获悉,“电力天路”青藏联网工程已安全平稳运行超12年,双向累计输送电量突破200亿千瓦时,达200.4亿千瓦时。其中,由青海向西藏送电113.4亿千瓦时,由西藏向青海反向送电87亿千瓦时。这是自2020年2月,工程首次实现双向累计送电量突破100亿千瓦时之后,再次突破的第二个百亿大关。

作为第一条进入西藏的“电力天路”工程,青藏联网工程于2011年12月建成投运,架起了连接西藏的“能源大动脉”。西藏电网通过青海电网首次实现与全国大电网互联互通,使西藏地区长期以来冬季严重缺电、夏季水电消纳难的矛盾得到有效解决。

据悉,自青藏联网工程投运以来,柴拉直流系统双向输送能力不断提升,输送功率已由投运初期的100兆瓦提升至现在的最高600兆瓦,柴拉直流大功率运行已成为常态化。自2015年开始,这条能源大通道在西藏地区每年水电丰水期时将“藏电送青”、枯水期时送“青电入藏”,源源不断地输送电能,输送电量呈逐年增长态势。工程年输送电量由投运次年的6.5亿千瓦时,增长至2023年的28.3亿千瓦时,为西藏赢得经济效益的同时,也提升了中国西部地区能源资源配置的消纳水平。

据了解,2024年,工程将迎来直流二期扩建工程,在前期已建600兆瓦换流容量的基础上再扩建600兆瓦,大幅提升工程正反向输电能力。

## 全球海拔最高大型抽蓄电站开工建设

### 单日存储电量可满足200万户家庭一天用电需求

科技日报讯(苟文涵 实习记者刘侠)记者2月23日获悉,全球海拔最高的大型抽水蓄能电站、雅砻江流域水风光一体化基地又一重大项目——道孚抽水蓄能电站于日前开工建设。



道孚抽水蓄能电站效果图。受访单位供图

道孚抽水蓄能电站位于四川省甘孜藏族自治州道孚县,场址海拔4300米,总装机容量210万千瓦,设计年发电量29.94亿千瓦时。它是四川省装机规模最大的抽水蓄能项目,也是全球海拔最高的大型抽水

蓄能电站,被称为“巨型充电宝”。电站安装6台35万千瓦的可逆式机组,主要由上水库、下水库、输水系统、地下厂房系统及地面开关站等组成。

雅砻江流域水电开发有限公司副总经理张鹏介绍,抽水蓄能是目前最常用的大规模储能技术,主要用于电力系统调峰填谷、调频调相和紧急事故备用等领域,具有技术成熟、效率高、容量大、储能时间长等优点。

张鹏说,在用电低谷时段,电站可利用风光等新能源发出的多余电能将下水库的水抽到上水库,相当于给“充电宝”充电。此时电站是电能用户端。在用电高峰时段,电站再将水从上水库放至下水库,把水的势能转化为电能,满足高峰时段电力需求,相当于让“充电宝”放电。此时的蓄能电站则是发电厂。

“作为‘巨型充电宝’,道孚抽水蓄能电站一天可存储电量1260万千瓦时,能满足200万户家庭一天的用电需求。”张鹏说,“道孚抽水蓄能电站对于区域内电力系统供需平衡、电力系统频率和电压稳定、电能品质提升有着显著作用。”

据悉,道孚抽水蓄能电站周边光伏资源丰富,规模超2000万千瓦。装机210万千瓦的道孚抽水蓄能电站与周边光伏发电互补,可将600万千瓦左右随机波动的光伏发电调整为平滑、稳定的优质电源,产生“1+1>2”的效益。

据介绍,拥有道孚抽水蓄能电站这一标志性项目的雅砻江流域水风光一体化基地是我国规划建设的大型清洁能源示范基地之一。目前,基地已投产水电和新能源装机近2100万千瓦。本阶段规划的7800万千瓦装机容量计划2035年全面建成。届时,雅砻江流域水风光一体化基地将成为世界最大的绿色清洁能源示范基地。

张鹏说,实施流域水风光一体化开发,有利于实现水风光多能互补发展,提高流域资源开发利用率,是推进可再生能源高质量发展的的重要举措。建设雅砻江流域水风光一体化基地,是探索新时期流域水风光一体化新模式新机制的创新性工作,可以为我国其他流域水风光一体化建设提供示范和借鉴。