

中国海上风电按下“快进键”，装机规模跃居世界第一——

逐风踏浪，“蓝色引擎”的绿色动力

本报记者 刘乐艺



日前，江苏省如东县海上风电场实现全容量并网投产，图为已投入使用的国家电投如东海上风电场。

杨少玉摄（人民视觉）

攻坚克难—— “走向蓝海”成“必答题”

若想实现“双碳”目标，清洁能源业务亟需跨越式、差异化发展。由于装机增速放缓，原本具有先发优势的风电产业正面临被反超的局面。向海而兴、向海图强，“走向蓝海”成为行业破局的“必答题”。

“中国不仅要开发好陆地资源，也要走向蓝海，建设海洋强国。海上风电能够促进科技进步、产业升级、带动区域经济的发展，是一个很重要的产业链。”中国工程院院士刘吉臻说。

事实上，发展海上风电，中国拥有天然优势——海岸线长、可利用海域面积广，拥有极大发展空间。

三峡集团三峡新能源公司董事长、党委书记王武斌介绍，风电塔筒矗立海上，海床上的基础工程必须做得扎实牢靠，塔筒顶端装上叶轮后，海风带动叶轮转动，进而驱动发电机运转，电流通过埋在海底的海缆传导至海上升压站，再以高压方式并入电网，最终传送到千家万户。

然而，海洋风电工程建设，绝非易事。

“不同于河流大坝建设，海上风电施工需要登船作业，一天24小时基本都是在海上漂泊。”作为一名拥有9年海上风电工作经验的老兵，三峡阳江项目工程管理部经理滕华灯告诉本报记者，受制于复杂多变的自然条件，海上风电施工往往面临极大挑战。

以阳江海域为例，每年10月至第二年2月为季风季节，风高浪急，冬季涌浪基本在2.5米以上，最高时可达4米以上，每年的可作业天气窗口只有100天左右。

“我们团队平均年龄只有29

3月30日，碧海蓝天下，白色的风机高高耸立，巨大的桨叶悠悠转动，将广阔大海的阵阵海风化为为社会经济发展的新动能。

这里是位于广东省阳江市沙扒镇海域的国内首个百万千瓦级海上风电项目——三峡阳江沙扒海上风电项目（以下简称“三峡阳江项目”）。截至3月25日，该项目生产电能突破10亿千瓦时，可替代标准煤30.76万吨，相当于50万个三口之家一

年的正常用电量。

近年来，在全球绿色浪潮与“双碳”目标的双重驱动下，中国海上风电“蓝色引擎”动力十足。2021年，中国海上风电装机规模跃居世界第一，形成了完整的具有领先水平和全球竞争力的风电产业链与供应链。正如国家能源局新能源和可再生能源司司长李创军所说：“中国海上风电实现了从小到大、从弱到强、从发展缓慢到跨越式发展的重大突破。”

岁，但大家的求知欲非常强，时常聚在一起开会，优化施工方案。”面对恶劣海况，滕华灯带领团队边学边干，积极推动新技术应用，成功建成了亚洲单体容量最大的海上升压站，敷设了国内首根大容量光电复合海缆，三峡阳江项目成为国内首个中连片规模化开发的海上风电项目。

广袤的大海除了令人生畏的海浪，海底地质条件也变化莫测。“在豆腐上插筷子”，便是对潮间带风电基础施工最形象的比喻。

“在泥泞的滩涂上给风电送出工程立塔架线，经常需要在齐腰深的水中吊装作业，这一站就是大半天……”2012年前后，一批潮间带海上风电试验项目落地江苏省如东县，回想起当年情景，国网江苏省电力有限公司如东县供电公司协理员瞿成不无感慨。

当时，桩基建造多采用开挖式线浇基础，桩基深度一般在4米左右。然而，“海与陆”如同“天与地”，陆上成功经验很难完全移植到海上。滩涂地质多是流沙，往往第一天打好的桩基，第二天就在流沙挤压下出现变

形、移位等情况。

通过不断探索，施工团队最终决定采用灌注桩建造方法，根据不同塔基所在环境的不同，增加桩基桩深，平均桩基在8到30米，提供足够的支撑力。“在建材选用上，我们建议施工单位选用抗硫酸盐水泥，能有效抵抗海水、盐碱地的腐蚀，保障风电成功并网。”瞿成对本报记者说。

伴随设备技术的日趋成熟，开发经验的不断积累，近两年，中国海上风电开发逐步进入加速期。2021年底，多个海上风电项目迎来集中并网：12月10日，华能山东半岛南4号全容量并网的海上风电项目；12月25日，江苏大丰海上风电项目正式全容量并网发电；12月29日，大连庄河海上风电场址项目最后一台海上风机顺利并网……

“从全球来看，中国海上风电起步不算很早，但现在已经展现出了非常良好的前景。”刘吉臻说，“我相信，作为中国能源绿色转型发展的一个重要战略支撑，未来，中国海上风电还会持续高速发展。”

立足创新—— 核心竞争力优势明显

在中国海上风电早期发展阶段，多选用陆地机组进行适应性改造后下海应用，虽具有一定可靠性，但单机容量一般较小；若引进国外设备，国内企业并不掌握其核心技术，运维、优化亦受制于人。

在此背景下，中国立足科技创新，加快核心技术攻关，目前已具备大兆瓦级风电整机、关键核心部件自主研发制造能力。

近日，中国自主研发的13兆瓦抗台型海上风电机组，在福建三峡海上风电国际产业园顺利下线，这是目前中国已下线的亚洲地区单机容量最大、叶轮直径最大的风电机组，国产化率达到90%。

据介绍，该机组由中国东方电气集团有限公司自主研发、拥有完全自主知识产权。“以一个100万千瓦的项目测算，与10兆瓦机组相比，选用13兆瓦风电机组可减少机位23

个，节约工程造价约5亿元，将有效降低度电成本，提高业主投资收益率。”东方电气风电股份有限公司副总经理郑大周介绍。

值得一提的是，13兆瓦抗台型海上风电机组的成功问世，离不开福建三峡海上风电产业园的孵化培育。

“8家国内外知名风机厂家在这里同台竞技，不仅为我国海上风电发展遴选出最合适的风机，还有助于推进海上风电高端装备国产化、大型化。”王武斌告诉记者，通过深度整合产业链，产业园在全面分析中国海上风电开发实际需求与各家技术特点和优势后，通过多轮协调，明确重要指标参数，深度参与大容量海上风电机组研发全过程。“同时，我们还从技术、资金等给予厂商支持，从用户端提供技术应用反馈，与厂商实现共同进步、互利共赢，进而推动整个行业升级。”

2021年12月25日，如东海上风电柔性直流输电工程全面投运，实现了中国在柔直海上风电领域“零”的突破。江苏方天电力技术有限公司承担着为其并网核心——海上换流站调试试验的关键任务。

“柔性直流技术是一种新型直流输电技术，能有效控制通过的电能，就如同在电力系统中接入一个完全可控的‘水泵’，能精准控制‘水流’的方向流量等。”方天公司电气技术中心项目经理杨春说。

安全稳定实现海上风电大容量、远距离、直流输送，牵起海陆两端的高压输电电缆的性能至关重要。“在耐压试验中，需要确保电缆充分放电。过去只能自然放电，等着电压逐渐下降。”杨春介绍，经测算，柔直工程自然放电最起码要10个小时，而试验期间正值夏季台风高发，作业窗口期极为有限，如果沿用传统方式，会影响整体进度。

为此，方天公司在电缆设计制造阶段就提前介入，与电缆制造商联合攻关，研发出世界首台针对海陆直流

电缆交接试验的大容量直流设备专业放电系统，攻克了多项世界性难题，将放电时间缩短至50分钟以内。

“综合来看，中国本地化研发制造的大容量海上风电机组、超长叶片、长距离输电工程等一系列海上风电关键技术均取得重要突破，技术创新能力处于全球第一梯队，核心竞争力优势明显。”中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长秦海岩表示。

机遇涌现—— 规模化发展前景可期

作为单体规模大、年利用小时数高的风电发展类型，这些年，海上风电优势尽显，发展机遇正加速涌现。

“‘十四五’期间，海上风电开发建设将进一步走向规模化。”国家能源局新能源和可再生能源司副司长王大鹏表示，随着相关指导性文件的发布，海上风电“高质量跃升发展”的主题将逐渐明确。

3月21日，国家发改委和国家能源局印发的《“十四五”现代能源体系规划》提出，提升东部地区能源清洁低碳发展水平，要积极推进东南部沿海地区海上风电集群化开发，重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。

与此同时，多地也锚定“蓝海”，相继出台规划，推进海上风电规模化开发。

山东省积极开拓海上风电“主战场”，聚焦渤中、半岛北、半岛南三大片区，全力打造千万千瓦级海上风电基地。加快启动平价海上风电项目建设，推动海上风电与海洋牧场融合发展试点示范，探索海上风电项目与其他开发利用方式分层立体开发，发挥海域资源利用的综合效益，推动海上风电规模化发展。

《广东省海洋经济发展“十四五”规划》提出，“十四五”期间广东省将推动海上风电项目规模化开发，力争到2025年底全省风电装机容量达到1800万千瓦，推动海上风电产业集群发展，加快建设阳江、粤东海上风电产业基地。

《江苏省“十四五”海上风电规划》明确，“十四五”规划海上风电项目场址共28个，规模909万千瓦。“我们将依托丰富的海洋资源，大力发展海上风电，争取到2030年，可再生能源电力总量要占到全社会用电量比重的35%左右。”江苏省能源局新能源处处长卢先率介绍。

业内人士普遍认为，随着规模化发展的到来，漂浮式海上风电将成为未来新赛道。

专家表示，相比于传统海上风电的固定式基础，漂浮式海上风电的适用范围更大。其浮式基础可自由移动，且易于拆除，适用海域类型更广。在经济性层面，漂浮式海上风电未来也更有提升潜力，例如可采用集成结构，简化程序，降低海上安装费用。

据了解，中国漂浮式海上风电目前处于工程化示范阶段，演示验证项目相继装机运行测试，如中国首台漂浮式海上风电试验样机——“三峡引领号”已于2021年正式完成风电机组吊装，中国海装工程化示范项目也将于今年初建设完成。

此外，海上风电与海洋牧场、海上油气、海水淡化等多种能源资源的综合开发利用融合发展，也将是未来海上风电的重要发展方向。

“产业协同与多能互补将成为海上风电未来发展趋势，规模化、定制化、智能化、大型化是降本增效的可靠途径。”三峡集团江苏分公司总经理袁英平建议，应建立海上风电产业链，涵盖海上风电的规划设计、选址，以及海上风电专业服务、软件开发等。

卢先率说，未来，江苏省在海上风电产业协同开发方面，要做一些示范性、探索性工作。“目前，我们一些海上风电企业已经探索了结合海上光伏的模式，技术上有待进一步突破。”



1月8日，工人在江苏南通振华重工南通传动大型海工车间内生产三峡风电施工船重型绞车和升降系统。许丛军摄（人民视觉）



2月22日，由中国自主研发、拥有完全自主知识产权的13兆瓦抗台型海上风电机组，在福建三峡海上风电国际产业园顺利下线。本报记者 刘骁宇摄



图为福建三峡海上风电国际产业园一角。新华社记者 林善传摄