

# 海上风电集约化运维策略研究

罗伟伟

(江苏省新能源开发股份有限公司 江苏 南京 210005)

**摘要:** 本文结合我国海上风电开发建设现状,分析海上风电运维的主要特点和内容,以江苏盐城大丰区域海上风电运维为例,探索分析海上风电规模化发展情况下,开展海上风电集约化运维的策略和相关功能配置方案,为海上风电运维行业建设提供参考。

**关键词:** 海上风电;集约化运维;运维船舶;集中运维基地

## Research on intensive operation and maintenance strategy of offshore wind power

LUO Weiwei

Jiangsu New Energy Development Co., LTD, Jiangsu Nanjing 210005

**Abstract:** Based on the current situation of offshore wind power development and construction in China, the main features and contents of offshore wind power operation and maintenance are analysed. Taking Dafeng offshore wind power operation and maintenance in Yancheng, Jiangsu Province as an example, this paper explores and analysed strategies and relevant functional configuration schemes for offshore wind power intensive operation and maintenance under the scale development, so as to provide reference for the construction of offshore wind power operation and maintenance industry.

**Key words:** offshore wind power; intensive operation and maintenance; operation and maintenance ship; centralized operation and maintenance base

**【DOI】**10.12293/j.issn.1671-2226.2023.25.007

### 前言

风能作为一种无污染、可再生且储量巨大的能源,是绿色可再生能源的重要构成部分之一。与陆上风能相比,海上风能具有资源丰富、风速稳定、风机有效利用小时高、不受地形地貌影响、不占用陆上土地资源、离负荷中心近,电力传输距离短等优点。经过“十三五”期间的大力发展和“十四五”期间的持续建设,我国海上风电开发技术和规模均达到了世界领先水平。据统计,2022年全球海上风电装机容量约9.4GW,累计装机容量达到57.6GW。其中,国内新增6.8GW,累计装机达26.5GW,约占全球总容量的44%,超过了英国(13.6GW)、德国(8GW)和荷兰(3GW)的总和。

随着我国海上风电装机容量的迅速增加和早期建成项目陆续达到5年的质保期,运维需求快速增长,海上风电运维市场建设得到了前所未有的重视。

### 1、海上风电运维现状及特点

国外(欧洲)海上风电项目开发始于20世纪90年代。1991年,世界上第一个海上风电场建于丹麦波罗的海的洛兰岛西北沿海的Vindeby附近,装机容量为5MW。随后,荷兰、丹麦和瑞典陆续建成了一批海上风电示范工程项目,这些项目的建设和运营为海上风电场的建设、运行和维护积累了丰富的经验。英国的10个海上风电场业主已经承诺加入由海上可再生能源孵化

器和英国皇家财产局共同合作的SPARTA系统,该系统将为风电场运营商创建一个数据库,用于共享匿名的海上风电场性能和维护数据,以提高风电场性能并降低成本。

国外(欧洲)海上风电经过20多年的发展,海上风电产业链已相对完善,尤其是运行与维护相关产业配套齐全,如运维基地,载人运维船、自升式运维平台、工程母船、运维直升机、水下机器人、无人机技术等。

我国海上风电运维还处于相对落后的状态。目前国内海上风电运维市场主要有三方<sup>[1-2]</sup>:主机制造商、风电场开发商和独立第三方运维公司。国内各大风机制造龙头企业都成立了风电运维公司,专注于风电场的整体式、全周期运行维护。主机制造商的优势在于熟悉自己品牌的风机技术,在大部件维修、技术改造等领域具有先天优势。风电场开发商中国风电公司成立的北京协和运维风电技术公司,在运维自有风电场的基础上,也对外提供运维服务。风电场开发商通常资金实力雄厚,本身又具有项目资源优势,有利于对运维设备、备件集中采购,降低运维成本。独立第三方综合运维公司采用专业化管理,有利于风电场的健康运行,但目前国内较少,只有少数专业维护公司,如叶片维护、塔筒清洗等。

目前,海上风电运维基本照搬陆上风电经验,即计

## 科学研究

划检修为主、故障检修为辅的运维模式。运维人员根据厂家指定的定检周期对风机进行计划性保养和测试和风机报故障，运行调度人员通知运维人员前往现场处理相结合。

我国海上风电运维面临两个难题，导致海上风电整体运行维护难度大，成本高，约占其度电成本的30%<sup>[3]</sup>，相较于陆上风电的维护费用高2~4倍<sup>[4]</sup>。首先是机组故障率高，维修工作量大。国内尝试建造的海上风电项目，初期使用的国产机组大多为陆上机组经适应海上环境改造而成，机组运行试验周期短，使用的风机在复杂恶劣的海上环境，故障率居高不下。随着风场离岸距离的增大、风资源的趋好，风机大型化趋势越演越烈，这些新机型往往缺乏足够长时间的完备试验和论证，这也给后期运维带来了较大隐患。其次，运维作业受海况条件影响明显，既有台风等恶劣工况，还存在较多的大风、团雾、雷雨天气，又有大幅浅滩，潮间带影响，通达困难，交通设备选择困难，海上维护作业有效时间短，安全风险大且缺乏大型维修装备。

### 2、海上风电运维的主要内容

海上风电场应遵循“预防为主、巡视和定期维护相结合”的原则，监控设备设施的运行，及时发现和消除缺陷，预防运行维护过程中人身、设备、电网、海事及海洋污染等不安全事件的发生。

海上风电运维包括风电机组，风电机组基础，海上升压站、海缆以及附属系统等<sup>[5]</sup>。

风机机组停运的主要原因有检修停运、故障停运、保护停运以及电网原因引起的停运四个方面。其中，故障停运与保护停运是造成海上风机停运的主要原因，保护停运发生的频率高，故障停运造成的停机时间长。风机保护停运是由于机组保护阈值触动、控制器报故障停运，通常可以远程恢复。海上风电机组故障停运率相对较高，据挪威船级社(DNV)统计，每台海上风机平均每年会遭遇高达40次可造成停机的故障，整机的最大故障率达到3%<sup>[6]</sup>。

风机机组维护的主要范围包括叶轮系统、发电机、偏航系统、液压系统、润滑系统、机舱控制和测量系统以及塔筒的维护检查。风电机组基础和海上升压站的运维包括基础(包括变形、焊缝、冲刷防护系统等)的监测与检测、防腐系统和电气设备、消防逃生系统等。

海底电缆频繁遭到自然灾害或人为破坏，其普遍具有影响范围广、维修难度大、修复时间长的特点。海缆一旦发生故障，将造成十分严重的经济损失。传统依

靠专人值守的方式，可靠性低。目前，海缆故障监测已作为海底电缆安全可靠经济运行一种必要的技术手段，具有良好的经济效益和重要作用。

### 3、海上风电集约化运维策略

以江苏盐城地区为例，截止“十三五”末盐城地区已建在建海上风电规模557万kW，“十四五”规划新增规划场址19个，加上“十三五”末核准结转至“十四五”开发的11个项目，规划场址共计30个，规划总面积约为1450km<sup>2</sup>，规划装机容量902万kW(暂不考虑深远海市场和不确定因素可能导致的规模核减)。规模庞大的海上风电装机容量，必然带来巨大的运维市场需求。建造匹配海上风电规模化发展的新型集约化海上风电运维中心，来统筹某个区域内海上风电场的集中运维，是海上风电行业发展的必然需求。

以下以盐城大丰区域(包括大丰区和东台市)建设海上风电集中运维中心为例，探讨集约化运维策略的配置思路。

#### 3.1目标规模确定

集中式运维首先要确定目标市场的规模，风机台数、离岸距离等资料，根据目标规模和条件来配置运维资源。目标市场的规模要考虑已建和近期规划的风场总容量，远期规划的风场容量可根据规划时序考虑工程扩建。

大丰区域海上风电场运维基地运维目标范围包括大丰区和东台市两地海上风电场，涵盖已建、在建及“十四五”规划风电场。经统计，已建和在建海上风电场总装机容量350万kW，风机台数822台。其中，大丰区的装机容量为250万kW，风机台数约580台；东台市的装机容量为100万kW，风机台数约242台。随着技术的进步，大容量风电机组的优越性突显，越来越多的风机厂商推出了大容量机组，因此“十四五”规划风电场暂按每台机组容量8MW估算风机台数。“十四五”规划海上风电场总装机容量447万kW，其中，大丰区的装机容量为307万kW，东台市的装机容量为140万kW。经估算，“十四五”规划风电场风机台数为559台，其中大丰区风机台数为384台，东台市风机台数为175台，离岸距离详见表1中所示。

#### 3.2运维船舶配置

##### (1)运维船舶现状

海上风电运维船是用于海上风电场运行维护的专用船舶<sup>[7]</sup>，需在航行中具有较好的舒适性，在波浪中应具有较好的运动性能，能够低速精准地靠泊到风力发

表1 大丰运维基地运维船配置

	已建及在建风电场			“十四五”规划风电场		
	≤15 海里	15~25 海里	>25 海里	≤15 海里	15~25 海里	>25 海里
风机总台数	80	467	275	113	106	340
运维船类型	普通运维船	专业双体运维船	高速专业双体运维船	普通运维船	专业双体运维船	高速专业双体运维船
运维船配置	3	16	9	4	4	11
运维船总计	28			19		

## 科学研究

电机组和海上升压站的基础上,并持续接触,方便人员设备安全便利地上下;船舶甲板区应具有存放工具、备品备件等物资的集装箱或风电机组运维专用设备的区域,并可以进行脱卸;船舶还应具有运维人员短期住宿生活的条件。

风电运维船主要分为普通运维船、专业双体运维船、高速专业双体运维船、运维母船、自升式运维平台等。一般普通单体船耐波性较差,在海况复杂的海域人员容易晕船,适航性差,出航率低。常规双体船的耐波性在单体船的基础上略有提高,还没有完全解决这个问题<sup>[8]</sup>。一种采用小水线面船型设计的高速双体船应运而生,但建造成本也较普通运维船舶有大幅提升,杨佳潼等对其经济性进行分析<sup>[9]</sup>,提出了一种简便估算全生命周期内所产生成本与收益的方法,为船东单位合理决策提供依据。

目前国内还是以单体运维船居多,双体专业运维船正在逐渐占据市场,有部分运维企业开始进行运维母船的建设。随着国内海上风电场规模增大,离岸距离增加,部分企业也开始考虑直升机用于运维的可行性。

### (2) 运维船舶的配置

运维船舶的配置需结合目标区域海上风电场的规模、离岸距离和船只特性,风机故障率等确定。

根据DNV的测算,每台海上风电机组平均每年有高达40次停机故障,整体故障率约3%,每30台海上风电机组需要1艘专业的运维船。根据统计数据,已建和在建海上风电场中,离岸距离 $\leq 15$ 海里的风机总台数为80台,配置3艘普通运维船;离岸距离15~25海里的风机总台数为467台,配置16艘专业双体运维船;离岸距离 $> 25$ 海里的风机总台数为275台,配置9艘高速专业双体运维船。已建和在建风电场共配置运维船舶28艘。基于单机容量8MW的统计数据,“十四五”规划海上风电场中,离岸距离 $\leq 15$ 海里的风机总台数为113台,配置4艘普通运维船;离岸距离15~25海里的风机总台数为106台,配置4艘专业双体运维船;离岸距离 $> 25$ 海里的风机总台数为340台,配置11艘高速专业双体运维船。“十四五”规划风电场共配置运维船舶19艘。具体配置建议详见表1所示。

### 3.3 运维码头配置

根据测算出来的全年所需出船总数量,每艘运维船只码头靠泊作业天数,综合考虑泊位的利用系数,突发性维护及恶劣气候条件的不平衡系数等,并考虑一定的经济性,确定运维码头设置10个运维船舶泊位。不同类型船只对码头结构尺寸和前沿水深的要求不同,考虑到大丰港区已建设有5000t的风电专用码头,为合理配置资源、降低工程造价,本次新建运维码头时,不考虑大部件运维船只的靠泊,仅供运维船只作业靠泊,运维码头结构可按500t设计。

### 3.4 陆上集中运维基地规模

海上风电场的陆上集中运维基地,定位于作为当地海上风电的综合服务中心,主要承担运行、维护、培训、科教、仓储、转运出海、智慧调度控制等功能。基地选址应考虑码头交通条件,并兼顾运维人员开展应急工作的方便,尽可能靠近所需辐射的海域。

陆上集中运维基地规模的配置思路如下:首先根据调研搜资分析,测算全生命周期内设备故障维修和更换的频率、处理时长、人员需求等,统计得到年故障运维和定期维护所需的总人工时;其次结合当地海域海洋气象统计资料,得到安全出海作业天数,从而确定维修人员的数量;再考虑管理及其他人员的配置比例,确定陆上集中运维基地的定员;最后根据具体功能需求配置生产、生活区的规模。

## 4、结论

我国的风电行业经过多年的建设发展,大量风电机组出质保期,风电运维市场大量释放。伴随着海上风电规模的逐年拓展,海上运维需求逐年增长,现阶段海上风电运行维护成本约占总发电成本的30%,已成为行业发展的重要领域。“十三五”之后,海上风电去补贴,为了能够实现平价开发和运营海上风电场,采取集约化海上风电运维的策略、最大化共享区域配套资源是实现海上风电平价化建设的必然之路。本文从目标运维风场容量、机型、离岸距离、运维船舶及码头配置、陆上集中运维基地等角度出发,探讨了海上风电集约化运维的策略,可为海上风电商制定运维方案和关键决策提供参考依据。

## 参考文献

- [1]李明,王明龙,朱泽锦.海上风电运维服务商业模式研究[J].技术与市场,2021,28(4):171-172.
- [2]吴志超,章浩,张振,等.广东省海上风电维护检修中心建立的论证研究及市场分析[J].电工技术,2022(6):186-189.
- [3]徐华利.海上风电运维的策略研究[J].科技创新导报,2020(03):159-160.
- [4]吴益航.海上风电运行维护问题策略探索[J].发电运维,2018(12):67-69.
- [5]中国国家标准化管理委员会.海上风电场运行维护规程GB/T32128-2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [6]谢云平.海上风电运维船舶船型及设计研究[J].技术跟踪,2020(12):16-21.
- [7]高巍,周华.风电运维船登靠作业概率评估[J].中国海洋平台,2018,33(6):78-84.
- [8]李绿琴.海上风电运维船的发展探究[J].科技创新与应用,2019,(34):77-78.
- [9]杨佳潼,张迎宾,李建卓,等.高速风电运维船的经济性分析[J].水电与新能源,2022,36(5):34-38.