



广东省海上风电母港发展现状及 规划布局建议

张俊¹, 汤伊琼¹, 沈红宾¹, 王婷婷¹, 覃杰¹, 孙小路², 叶晓文¹

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290;

2. 明阳智慧能源集团股份有限公司, 广东 中山 528427)

摘要: 近10年, 海上风电方兴未艾, 广东省从近海逐步到深远海规模化开发海上风电, 规划打造粤东、粤西1000万千瓦级海上风电基地, 阳江、汕尾、揭阳、汕头先后启动海上风电相关物料码头、重大件设备码头以及运营维护码头建设, 海上风电母港初见雏形。调研广东省海上风电母港建设和运营情况, 对比分析国内外海上风电母港的发展现状, 总结固定式风电机组和漂浮式风电机组发展对港口资源的使用需求, 并结合广东省海上风电规划容量和沿海港口规划布局情况, 基于集约、高效利用岸线和土地资源以及促进海上风电产业集群集聚发展的角度, 提出海上风电母港规划布局建议, 供海上风电母港选址建设和港口规划调整参考。

关键词: 海上风电母港; 物料码头; 重大件设备码头; 运维码头; 固定式风机; 漂浮式风机; 港口规划

中图分类号: U651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0059-12

Development status and planning layout suggestions about base port for offshore wind farm in Guangdong Province

ZHANG Jun¹, TANG Yiqiong¹, SHEN Hongbin¹, WANG Tingting¹, QIN Jie¹, SUN Xiaolu², YE Xiaowen¹

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China;

2. Mingyang Smart Energy Group Limited, Zhongshan 528427, China)

Abstract: In the past 10 years, offshore wind power is in the ascendant. Guangdong Province has gradually developed offshore wind power from offshore to far-reaching seas, tens of millions of kilowatts of offshore wind power bases in eastern and western Guangdong are planned to build. Yangjiang, Shanwei, Jieyang and Shantou have successively started the construction of offshore wind power related materials terminals, heavy equipment-duty terminals and service operation terminals, base ports for offshore wind farm are beginning to take shape. In this paper, the construction and operation of base port for offshore wind farm in Guangdong Province are investigated. The development status of base port for offshore wind farm at home and abroad are compared and analyzed, and the demand of port resources for the development of stationary wind turbine and floating wind turbines are summarized, in addition, combines the planning capacity of offshore wind power with planning & layout of coastal ports in Guangdong Province. Based on the intensive & efficient use of coastline & land resources, and the promotion of the development of offshore wind power industry cluster agglomeration, some suggestions on the planning & layout of base port for offshore wind farm are put forward, which can be used as a reference for the site selection and port planning adjustment of base port for offshore wind farm.

Keywords: base port for offshore wind farm; material terminal; heavy-duty equipment terminal; service operation terminal; stationary wind turbine; floating wind turbine; port planning

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 张俊 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程总平面设计。

1 海上风电母港功能需求与市场需求

1.1 海上风电母港功能需求

海上风电产业链包括上游材料及部件、中游装备及运营维护、下游运营等，海上风电场的建设和运营维护需要港口为物料和重大件设备装卸、运输、存储、人员交通以及船舶运输提供保障。海上风电母港是为海上风电产业链中的各种物料、零部件、成品提供仓储、运输、运维服务的专用港区，专业化、规模化的港口服务可降低运输成本，保障风电机组如期交付和正常运营。

国内山东、江苏、浙江、福建、广东、海南等省的“十四五”期间海上风电建设相关规划提出在山东烟台、威海、东营，江苏盐城、南通，浙江舟山，福建福州、漳州，以及广东汕头、揭阳、汕尾、揭阳等地新建海上风电专用港口，保障海上风场开发，同时促进风电装备制造和运营维护服务产业集聚。

1.2 风电母港市场需求

欧洲最大的海上风电母港——丹麦埃斯比约港(图1)的海上风电业务兴起于2001年，为80%

的欧洲海上风电装机容量提供风机组装、船舶运输、运营维护等服务。2017—2022年，该港口年均吞吐海上风电装机容量112.8万kW，其中2019年高达150万kW^[1]。



图1 丹麦埃斯比约港

《广东省海上风电发展规划(2017—2030年)(修编)》^[2]规划海上风电场址23个，位置见图2，总装机容量6685万kW，包含：近海35m水深以内浅水区风电场15个，装机容量985万kW，其中粤东海域415万kW、珠三角海域150万kW、粤西海域420万kW；近海35~50m深水区规划风电场8个，装机容量5700万kW，其中粤东海域5000万kW、粤西海域700万kW。



图2 2017—2030年广东省海上风电规划场址分布

截至2023年，广东省海上风电装机规模突破1000万kW。《广东省培育新能源战略性新兴产业

集群行动计划(2023—2025年)》^[3]提出打造广东海上风电基地，到2025年底全省累计投产海上风

电装机约 1 800 万 kW, 全省海上风电整机制造年产能达到 900 台(套)。意味着 2024 和 2025 年年均海上风电装机 400 万 kW, 相当于广东省海上风电母港提供约 2.7 倍于丹麦埃斯比约港的海上风电服务量。如到 2030 年完成规划 6 685 万 kW 装机容量开发, 2026—2030 年年均海上风电装机实现 977 万 kW, 海上风电母港服务能力须再扩大近 1.5 倍。

2 风电母港工艺要求与平面布局

2.1 物料码头

2.1.1 物料类型

风电母港进口物料有钢材(钢管)、水泥、砂石料。钢材(钢管)用于加工制造塔筒和固定风机的基础桩, 水泥和砂石料用于制造混凝土构件。

2.1.2 运输船舶

钢材(钢管)、水泥、砂石料可采用 3 000 ~ 5 000 DWT 件杂货、散货船舶运输。

2.1.3 装卸运输工艺要求

钢材采用通用门座式起重机装卸作业, 水平运输采用平板车; 水泥和砂石料采用通用门座式起重机或自卸设备装卸作业, 水平运输采用皮带机或汽车。

2.1.4 码头总平面布局

物料码头等级相对较低, 码头可采用顺岸式或者突堤式, 宽 18 ~ 40 m。后方陆域布置堆场和仓库, 容量根据年服务风机数量和规格确定。

2.2 重大件设备码头

2.2.1 设备类型

风机的重大件设备和部件包括叶片、主机、塔筒、基础等^[4], 见图 3。

近年来, 海上风电风机大容量化趋势明显。2023 北京国际风能大会暨展览会 12 家头部整机企业发布 45 款新产品显示: 海上主流机型容量趋于 8 ~ 12 MW, 代表最新技术的超大型海上风电机组容量为 20 ~ 22 MW。

叶片一般采用玻璃纤维、碳纤维复合材料, 长度最大达 126 m。以 2023 年刚投产的全球首台 16 MW 超大型机组为例, 叶片长 123 m, 质量达 54 t。

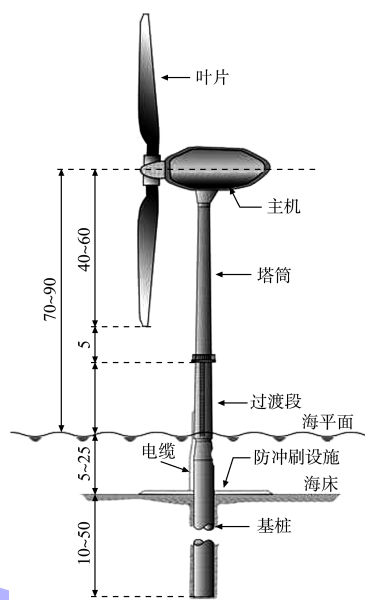


图 3 海上风电机组部件 (单位: m)

主机是机舱、发电机组合体, 以 2023 年刚投产的全球首台 16 MW 超大型机组为例, 主机质量达 385 t。

塔筒有柔性钢塔(柔塔)、混凝土塔筒(混塔)、桁架结构塔架、斜拉索结构塔架等。国内实践以柔性钢塔为主, 塔筒高度普遍超过 140 m, 目前最高为金风科技发布的 Double 185 高塔。以明阳青洲四期海上风电场为例, 单机容量 12 MW 塔筒总高约 122 m, 筒体最大直径达 8.5 m, 单套塔筒质量约 930 t, 单段最长接近 35 m, 最大质量约为 250 t。

基础包含固定式和漂浮式两大类。固定式基础有重力式、单桩、三脚架、导管架、负压桶等。国内实践以单桩基础为主, 一般采用钢管桩^[5]。2022 年华能苍南 4 号海上风电工程超大型桩基单桩长 127 m、最大直径 9 m、最大壁厚 105 mm、质量 2 150 t。2023 年大金重工股份有限公司向英国 MorayWest 海上风电场交付 48 根超大型单桩, 单根最大直径 10 m、最大质量近 2 000 t、板厚 115 mm, 是目前全球已交付的最大规格单桩产品。漂浮式基础主要有 3 种: 单柱式、半潜式和张力腿式, 见图 4。单柱式曾是漂浮式工程的主要技术方案, 但半潜式在过去几年发展很快, 逐渐成为主

流。张力腿式技术在灵活性上有一定优势，但其安装过程复杂、锚链成本高，暂时市场份额较低^[6]。

国内已建和在建的示范性漂浮式风机均采用半潜式基础，如“三峡引领号”、中国海装“扶摇号”、“海油观澜号”以及首个规模化深远海海上风电工程——海南万宁 100 万 kW 漂浮式海上风电工程，相关基础参数见表 1。

随着海上风电场逐步走向深远海，导管架基础、浮式平台基础占比将会逐渐增高^[7]。

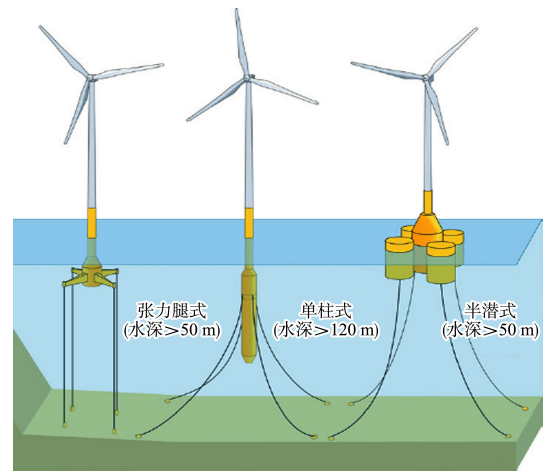


图 4 漂浮式海上风电漂浮技术类型

表 1 国内漂浮式风机基础参数

名称	装机容量/ MW	基础形式	基础参数/m	吃水/ m	应用 水深/m	基础 质量/t	下水方式
“三峡引领号”	5.50	三立柱半潜式平台	立柱跨距 65、型深 32	13.5	30	-	模块化小车,半潜驳接驳
“中国海装扶摇号”	6.20	柱稳式等边三角平台	总长 72、型深 32、型宽 80	18.0	65	4 800	卷扬机拉移,半潜驳接驳
“海油观澜号”	7.25	三角形浮式基础	边长近 90、高约 35	-	120	4 000	干船坞浮运

2.2.2 运输船舶

叶片、塔筒、主机以及基桩一般采用特殊甲

板驳船运输，典型的运输船舶参数见表 2，可选用 0.5 万~4.0 万 DWT 件杂货船舶作为设计船型。

表 2 代表性风电重大型设备运输船舶参数

名称	船长/m	型宽/m	型深/m	吃水/m	载质量/万 t	特点
“明兴”轮	199.9	32.3	19.0	-	6.20	全球最大多用途重吊船舶,左舷配置 4 台克令吊,联吊最大起吊能力达 300 t
“波罗的海和谐号”	167.2	27.4	15.5	10.1	3.12	2 台最大 200 t 克令吊串联操作
“海韵 8 号”	108.3	23.8	6.0	4.4	-	-
“波弗特海号”	173.0	42.0	-	-	-	-

2.2.3 装卸、运输和安装工艺要求

叶片和基桩是超长件，塔筒和主机为超重件，漂浮式基础为超大、超重件。

叶片装卸作业可采用门座式起重机(图 5)和履带式起重机，主机可采用全固定回转式起重机、桅杆式起重机、轨道式龙门起重机和履带式起重机装卸作业；塔筒和基桩可采用全固定回转式起重机、轨道式龙门起重机和履带式起重机装卸作业。水平运输均可采用平板车或者模块化小车^[8-9]。设备装卸运输码头均布荷载一般为 80~150 kPa。

漂浮式风机基础可在出运码头通过半潜驳接驳下水或者干船坞下水，半潜驳下水时采用模块化小车水平运输。



图 5 码头门座式起重机吊装叶片

漂浮式风机基础出运码头均布荷载宜取 80~150 kPa；漂浮式风机基础总装场地局部均布荷载可能达 80~150 kPa，且须控制不均匀沉降在 5~10 mm。漂浮式风机在码头进行设备安装作业相对设备装

船作业具有更高的吊装高度,如“三峡引领号”、“中国海装扶摇号”风机轮毂中心高度 100 m 左右,一般采用大型履带式起重机作业,码头局部荷载达 150~400 kPa。

2.2.4 码头总平面布局

重大件设备码头一般采用顺岸式布置,码头宽度 40~60 m,重大件设备装卸作业码头与后方连接可采用满堂式或引桥式,漂浮式风机基础滚装下水码头和重大件设备安装作业码头宜采用满堂式。

1) 码头长度。重大件设备装卸作业码头长度依据船舶长度和系泊富余长度确定;漂浮式风机基础滚装下水码头长度依据半潜驳靠泊长度和系泊富余长度确定。

重大件设备安装作业码头长度宜为:单台机漂浮式风机取 2 倍漂浮式平台离岸系泊距离(B) + 漂浮式平台端部系缆点间距(D);双台机漂浮式风机取双机轮毂间距(D_0) + 叶片长度(L_0),见图 6。

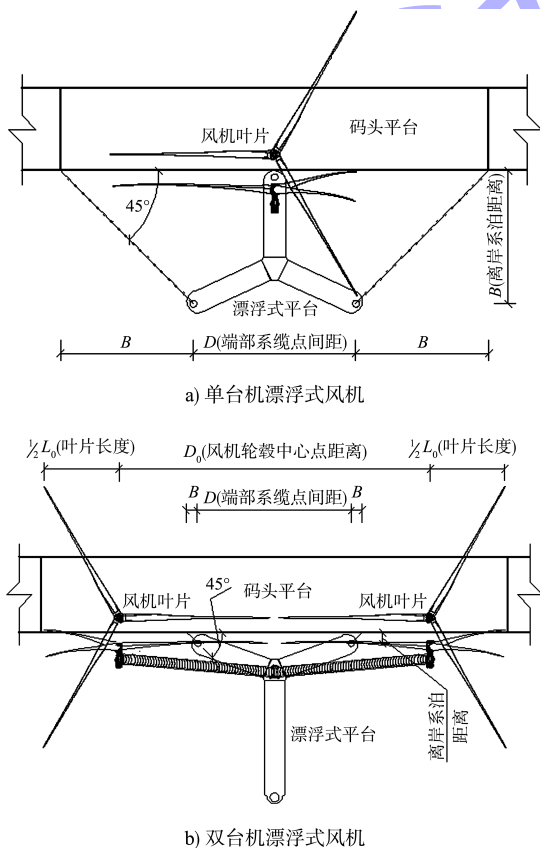


图 6 漂浮式风机重大件设备安装码头长度计算

2) 码头宽度。重大件设备装卸作业码头宽度宜取 40 m;漂浮式风机基础滚装下水码头宽度不限;重大件设备安装作业码头宽度宜取 60 m。

3) 陆域纵深。参考 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[10]以及类似工程实践,重大件设备装卸码头后方堆场陆域纵深宜取 300~600 m;漂浮式风机基础下水码头后方一般作为漂浮式风机基础拼装场地,陆域纵深不低于浮体宽度,宜取 200~400 m;重大件设备安装码头可与装卸码头共用堆场。

2.3 风机运维码头

海上风电场的运行年限为 25 年,风电机组并网发电后,整机厂商提供 5 年的质保服务。质保期之外,运维工作由风电场投资方或第三方运维服务商承担。

海上风电场的维护包括日常检查和大件零部件的更换。运维码头后方设置备品备件库,储备物资以直接影响电场正常运行的备件(如一次设备)以及易受政策影响的备件(如进口备品备件)为主。进口备品备件按满足 3 年时间使用的数量进行储备。发电机、齿轮箱等大部件由整机商储备^[11]。

2.3.1 运维人员

据统计,国内海上风电每 80 台机组每年需要人力约 7 000 次,其中约 1 000 次为人为干预,6 000 次为登机处理^[12]。

2.3.2 运输船舶

海上风电场运维船舶包括运维转运船和运维母船。运维转运船用于在海岸和近岸风电场之间转移船员和少量货物的小型船只,运维母船可用于远海风电场运维的大型船舶,可连续作业数周时间^[13]。

欧洲离岸 50 km 以外的海上风电场均采用运维母船,离岸距离 30~50 km 的工程逐步采用运维母船替代运维转运船,30 km 以内的海上风电场采用运维转运船。国内风电场早期一般是临时租用小舢板作为运维转运船,随着风电场建设规模增大,逐渐建设运维转运船和风电运维母船投入风电场运维,相关船型见表 3。国内第一艘 30 m 级专业风电转运船“中国海装 001”于 2021 年 10 月下水,第一艘风电运维母船“润海 663”于 2022 年 12 月交付,见图 7。

表3 国内典型风电运维船舶参数

名称	船长/m	型宽/m	型深/m	吃水/m	航速/kn	载质量/t	载人数/人	抗浪/m
“至臻”号	93.40	18.0	7.6	5.0	12.3	6 074	100	-
IWS SKY WALKER	90.00	19.6	-	-	13.0	-	120	-
“润海 663”号	78.00	18.6	7.8	5.0	-	-	32	3.5
“至诚”号	72.76	17.5	7.0	5.5	12.0	4 378	60	-
“海峰 5202”号	40.00	10.8	5.2	-	15.5	-	12	2.5
“中国海装 001”号	30.05	9.9	3.2	1.7	25.0	38	12	4.0



图7 “润海 663”轮

根据挪威船级社测算,海上风电场每年每台机组平均发生 40 次故障,且平均约 30 台风电机组使用 1 艘运维船舶进行维护。目前国内有 170 余艘

运维转运船,除去备用与维修船只,平均每艘需要服务 40 台机组。三峡能源近日开启 2024—2025 年度运维船舶租赁招标,针对分布在辽宁、山东、江苏、广东 4 省 7 个海上风场的 811 台海上风机,拟租赁 12 条海上风电运维船,开展风电场检修、维护、巡检、扫测(基础、海缆、地形)、防腐施工、防雷检测等工作。船舶性能要求有单体船、双体船、高性能船,船长大于 25 或 35 m,船宽大于 5 或 8 m,船速不低于 13 或 15 kn,见表 4。

表4 三峡能源风电场参数与拟租赁运维船舶数量关系

风场名称	装机数量/台	离岸距离/km	母港—风场距离/km	水深/m	浪高/m	船舶/艘
庄河	72	25	30~40	15~20	1.5	1(单体)
昌邑	50	16	20~26	6.5~9	1.0	1(单体)
牟平	34	50	45~50	32~42	0.7	1(单体)
响水	55	10	20~30	8~12	1.0	2(单体)
大丰 H8-2	58	72	111	7.5~20.9	1.0	1(双体)
大丰 H11	73	45	56	1~17	1.0	1(高性能)
如东 H6	100	50	-	-	-	1(双体)
如东 H10	100	63	-	9~22	1.2	1(高性能)
阳江一期	55	28	60~70	27~32	2.0	
阳江二期	62	20	40~60	24~28	2.0	
阳江三期 A ₁ 区	47	30	35~75	23~25	2.0	2(双体)、
阳江三期 A ₂ 区	15	16	35~75	23~25	2.0	1(高性能)
阳江四期	43	26	55~75	28~31	2.0	
阳江五期	47	22	47~67	26~29	2.0	
合计	811	-	-	-	-	12

2.3.3 装卸运输工艺要求

风电运维船主要运输人员、可更换设备和零部件,船舶配备吊机,并设置风机安全接近系统^[14]。码头可不设置装卸设备,风机相关设备和零部件可以采用卡车或平板车运输。

2.3.4 码头总平面布局

码头长度依据船舶长度和系泊富余长度确定,宽度满足车辆通行。后方陆域设置备品备件库。码

头总体布置同普通件杂货码头,考虑人员上下船。

2.4 风电母港平面布局方案

考虑物料码头、重大件设备码头(包括设备装卸码头、漂浮式风机基础下水码头、漂浮式风机设备安装码头)以及运维码头的完备功能以及码头组合布置方式,风电母港平面布局有顺岸式、顺岸式+挖入式组合、顺岸式+突堤式组合以及顺岸式+干船坞组合等 4 种方式,见图 8。

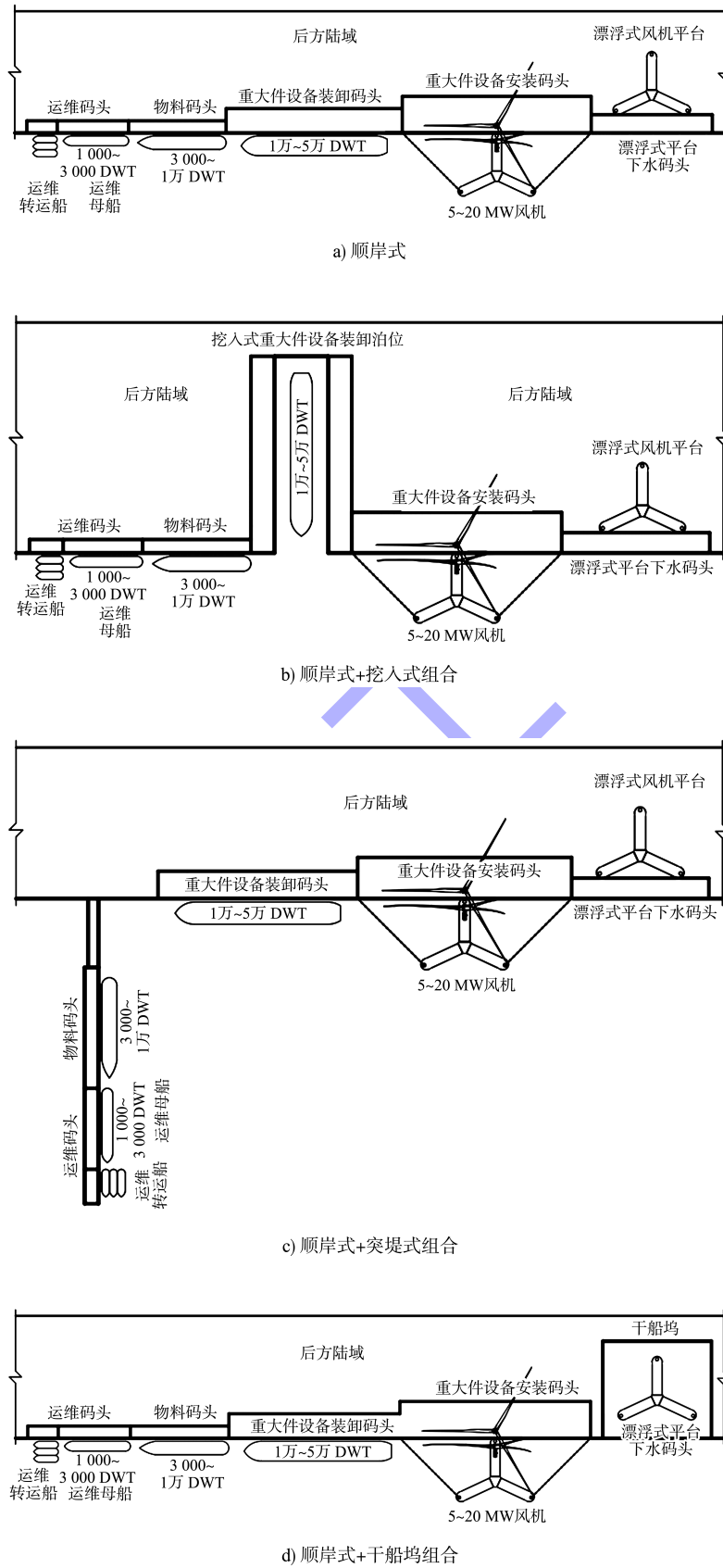


图 8 风电母港 4 种布局

岸线资源充足时, 优先选用顺岸式布局; 岸线资源受限时, 可选用顺岸式+突堤式组合布局, 将物料泊位和运维码头改为突堤式码头; 具有轨道式龙门起重机供应优势时, 可选用顺岸式+挖入式组合, 将设备装备码头改为挖入式码头; 如具备干船坞条件, 可选用顺岸式+干船坞组合, 将设备安装码头用于船坞替换。

3 广东沿海风电母港发展现状及规划选址建议

3.1 风电母港发展现状及评价

3.1.1 阳江

阳江港已建成2个5万DWT风电设备出运码头, 在建8个3000~3万DWT风电设备出运码头, 具体参数见表5, 典型码头现状见图9。

表5 阳江港海上风电专用码头参数

港区	名称	泊位等级/ DWT	泊位 性质	岸线 长度/m	平均陆域 纵深/m	装卸设备	主要用途
海陵 湾吉 树作 业区	J ₁ ~J ₂ 泊位	3 000(5 000)	多用途	254	-	2台40t轨道式龙门起重机、1台800t桅杆式起重机	卷钢、叶片、主机、塔筒
	J ₃ ~J ₆ 泊位	3 000(5 000)	多用途	500	-	-	兼顾风电设备
	J ₇ 泊位	3 000	多用途	150	888	120t汽车吊、履带式起重机、500t回旋式起重机	兼顾风电设备转运
	J ₉ ~J ₁₆ 泊位 (在建)	3 000(5 000)	多用途	1 393	-	J ₁₃ 、J ₁₄ 泊位共2台门座式起重机、1台输缆机、J ₁₆ 泊位1000t轨道式龙门起重机	运维码头
	13 [#] ~14 [#] 泊位	5万(10万)	多用途	521	592	13 [#] 泊位1600和700t履带式起重机	-

注: J₉ 泊位长345m, J₁₀ 泊位长295m, J₁₁~J₁₂ 泊位总长246m, J₁₃~J₁₄ 泊位总长278m, J₁₅ 泊位长154m, J₁₆ 泊位长75m。



a) J₁~J₂、J₅~J₆泊位



b) 13[#]、14[#]泊位

图9 阳江风电母港现状

阳江风电母港功能齐全, 规模优势明显, 已利用岸线长度达2818m, 后方陆域平均纵深592~888m,

泊位等级3000~10万DWT, 满足风电发展的综合需求, 具备风电母港的条件。尚缺少漂浮式风机基础下水和设备安装的大荷载、深水码头或船坞, 未来根据需要完善该功能。

3.1.2 汕尾

汕尾港陆丰港区田尾山作业区建有2个码头(3个泊位), 总长361m。其中1[#]泊位为运维泊位; 2[#]泊位为5000DWT重件泊位, 最大可停靠9900t特种船舶, 配置2台起重能力80t的门座式起重机; 3[#]泊位为5000DWT重件泊位, 配置1台起重质量2000t的轨道式龙门起重机。码头主要服务于海缆、塔筒、导管架、风机运输。码头现状见图10。

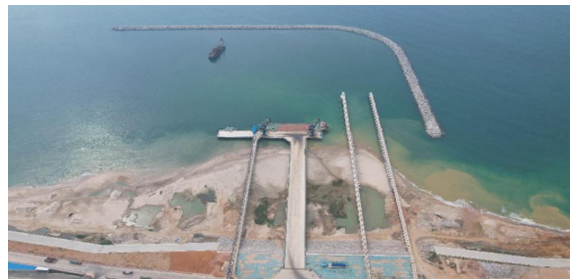


图10 汕尾港陆丰港区田尾山作业区已建风电专用泊位

汕尾风电母港处于起步阶段,具备风电母港的基本功能,规模尚小,且后方无堆场,需要根据海上风电场装机容量发展,逐步扩大风电母港规模。

3.1.3 揭阳

揭阳港前詹作业区拟建1个7万DWT通用泊位、1个3000DWT通用泊位以及1个1万DWT重件泊位(挖入式港池),码头总长493m,平均陆域纵深493m,效果图见图11。7万DWT泊位配置2台40t-43m和3台25t-43m门座式起重机,3000DWT泊位配置1台40t-30m和1台16t-30m门座式起重机,重件泊位配置1台起重质量2000t的轨道式龙门起重机,主要服务于钢管、发电机组、轮毂运输。揭阳港风电专用泊位数量少、功能单一,需要拓展数量和功能。



图11 揭阳港前詹作业区在建风电相关码头

3.1.4 汕头

汕头市濠江区广澳临港片区规划280万 m^2 海上风电创新产业园,入住企业相关材料和产品运输暂依托广澳港区广澳一期和二期已建泊位开展。

3.2 风电母港规划选址建议

根据风电母港功能需求、工艺要求、平面布局以及在运营风电母港实践反馈,区域性风电母

港宜规模化、集中化,功能完善的风电母港宜包含:5~10个3000~1万DWT运维船舶泊位,可利用港区支持保障系统泊位、普通通用泊位和多用途泊位;2~3个3000~2万DWT物料泊位,可利用普通通用泊位和多用途泊位;2~5个3000~5万DWT风电设备装卸泊位,后方纵深宜大于400m,存放叶片、塔筒、主机、基桩等;1~2个5万~10万DWT漂浮式风机基础下水泊位,后方陆域纵深宜不小于500m,用于漂浮式基础拼装和存储;1~2个5万~10万DWT漂浮式风机设备安装泊位。

2022年发布的《广东省港口布局规划(2021—2035年)》^[15]未定义专门的海上风电机组装备装卸、运输、安装和运维服务港口功能,仅明确粤东地区潮州港、汕头港、揭阳港、汕尾港,珠三角地区惠州港、中山港、珠海港、江门港,粤西地区阳江港、茂名港开展原材料、散杂货运输,发展临港产业。

潮州港以临港产业为主的深水港区——金狮湾港区规划东片区和西片区陆域位于填海区,短期内无法实施,暂不具备发展风电设备运输和运维服务的条件^[16],金狮湾港区规划布置见图12。

汕头港广澳港区广澳三期工程规划3个2万DWT海上风电泊位,泊位岸线长650m,陆域纵深700m,用于建设母港堆场、海上风电装备制造园区等,以满足海上风电施工、建设、产品出运、重件出口等全方位需求,正在开展前期工作^[17],广澳港区规划布置见图13。广澳三期可利用港口岸线和临港土地资源紧张,宜充分发挥风电母港的公共功能,同时考虑修改其他岸线功能,将临近通用泊位和多用途泊位调整为风电母港泊位,促进港区风电产业区集聚。

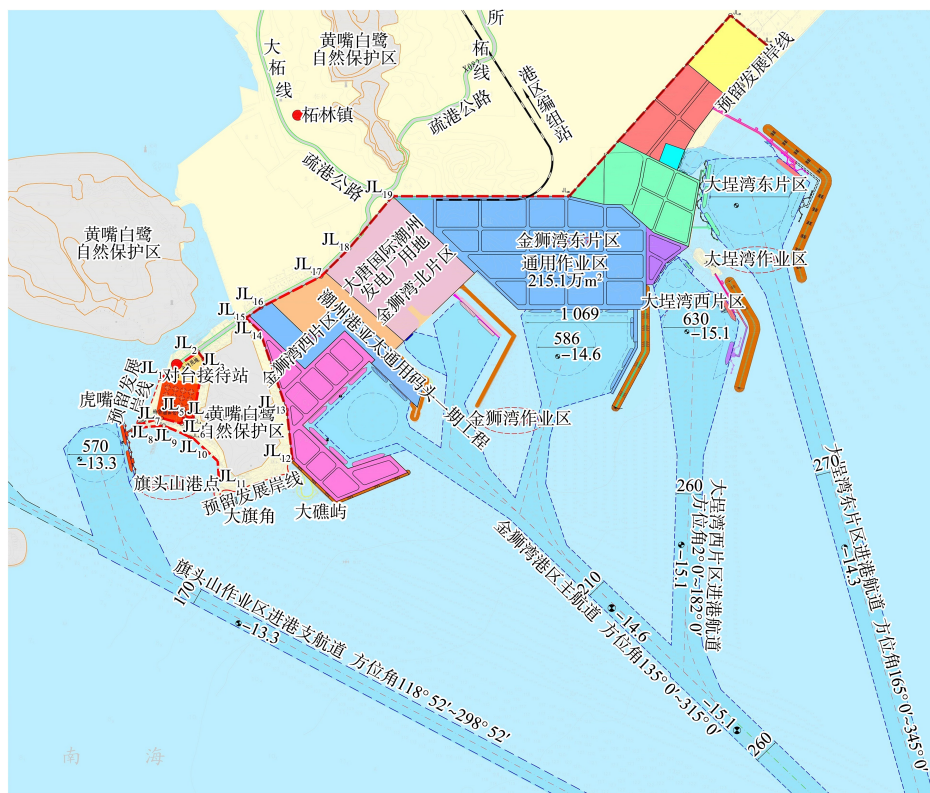


图 12 潮州港金狮湾港区规划布置 (单位: m)

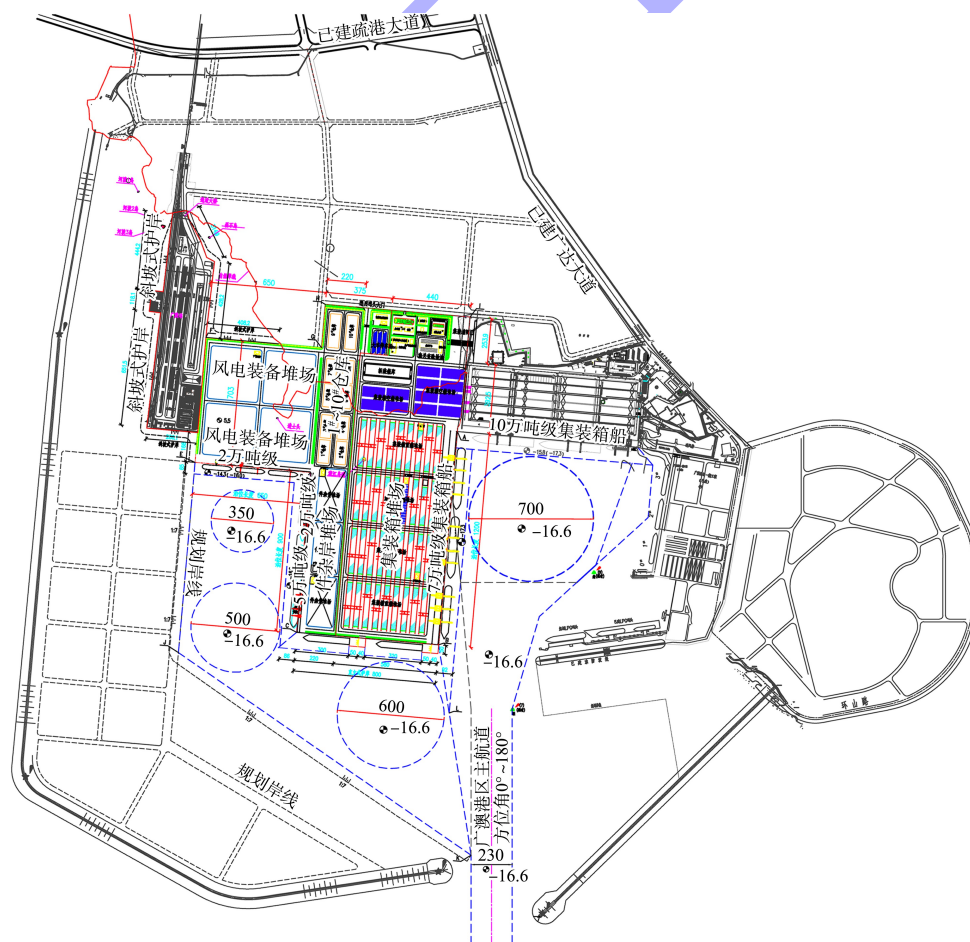


图 13 汕头港广澳港区规划布置 (单位: m)

码头、租赁港区其他功能区土地和调整港口规划新增码头、土地资源成为合理的选项,其中扬州港3#泊位是普通码头改造风电专用码头的成功案例。

3) 海上风电场建设和运维的周期性决定了其对码头和堆场的使用同样具有周期性。为保证码头不闲置,海上风电设备的装卸码头和堆场应结合其他货种统筹考虑。近期可考虑海上风电母港和海洋牧场母港结合,高效集约利用港口岸线和土地资源,发展海洋装备高端制造和运维服务。

4) 后续结合海上风电母港运营情况,进一步分析泊位数量与可服务装机数量(容量)的关系,为确定风电母港建设规模提供依据。

参考文献:

- [1] Port of Esbjerg. Annual report 2022[R]. Copenhagen: Port Esbjerg, 2023.
- [2] 广东省发展和改革委员会. 广东省海上风电发展规划(2017—2030年)(修编)[A]. 广州: 广东省发展和改革委员会, 2018.
- [3] 广东省发展和改革委员会, 广东省能源局, 广东省科技厅, 等. 广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划(2023—2025年)[A]. 广州: 广东省发展和改革委员会, 2020.
- [4] MALHOTRA S. Selection, design and construction of offshore wind turbine foundations[M]. Oslo: DNV, 2011.
- [5] 李启钊, 孔德煌, 何建涛, 等. 海上风电大直径单桩基础优化研究[J]. 西安理工大学学报, 2023, 39(2): 272-280.
- [6] 中国可再生能源学会风能资源专业委员会. 海上风电回顾与展望 2023[R]. 北京: 中国可再生能源学会风能资源专业委员会, 2024.
- [7] 李志川, 胡鹏, 马佳星, 等. 中国海上风电发展现状分析及展望[J]. 中国海上油气, 2022, 34(5): 229-236.
- [8] 张俊, 夏悟民, 白帆, 等. 国内核电厂大件码头总体设计要点[J]. 水运工程, 2015(4): 126-131.
- [9] 王冰, 杨璧榕. 海上风电设备的码头装卸方式和堆存方式[J]. 水运管理, 2020, 42(6): 35-36.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [11] 王金树. 海上风电备品备件库建设: 以福建三峡海上风电产业园为例[J]. 中国储运, 2023(5): 86.
- [12] 谢云平. 海上风电运维船船型及设计研究[J]. 船舶工程, 2020, 42(12): 26-31.
- [13] Department for Transport and Foreign, Commonwealth & Development Office. Decarbonising maritime operations in North Sea offshore wind O&M: innovation roadmapped produced for the UK Government DFT and FCDO [R]. London: Department for Transport and Foreign, Commonwealth & Development Office, 2021.
- [14] 杨程. 浅析海上风电运维船的发展[J]. 海峡科学, 2016(12): 78-80.
- [15] 广东省人民政府办公厅. 广东省港口布局规划(2021—2035年)[R]. 广州: 广东省人民政府办公厅, 2022.
- [16] 潮州市人民政府. 潮州港总体规划[R]. 潮州: 潮州市人民政府, 2012.
- [17] 汕头市人民政府. 汕头港总体规划[R]. 汕头: 汕头市人民政府, 2014.
- [18] 揭阳市人民政府. 揭阳港总体规划(2035)[R]. 揭阳: 揭阳市人民政府, 2023.
- [19] 汕尾市人民政府. 汕尾港总体规划[R]. 汕尾: 汕尾市人民政府, 2014.
- [20] 阳江市人民政府. 阳江港总体规划[R]. 阳江: 阳江市人民政府, 2018.

(本文编辑 王璁)