

# 浅谈广东海上风电项目进度管理策划

黄斌<sup>✉</sup>, 王董辉, 姚宇

(深圳能源集团股份有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:** [目的] 为优化海上风电项目进度管理思路, 统筹管理过程中资源, 做好海上风电项目管理顶层设计, 紧抓进度管理中关键路径, 实现项目进展的有效推动, 有助于集中资源解决风险, 避免或减少工期延误, 提高海上风电项目管理能力。[方法] 文章通过搜集分析国内各海域海上风电项目实际建设经验, 同时结合项目管理中关键路径理论, 总结分析海上风电建设过程中的关键工作内容及关键节点, 并根据广东海上风电项目实际情况, 总结项目建设过程中关键工序所需时间, 来验证相关工序时间的准确性及关键工序重要性。[结果] 结果表明: 海上风电项目建设工程关键路径包括送出线路、集控中心、主海缆生产敷设、升压站(换流站)建造施工、首回路基础制造施工、风机制造吊装、支缆生产敷设、并网调试及消缺工作几大部分。进度策划关键核心: 在整体施工顺序策划前提下, 做好勘察设计、基础工程、风机工程、海缆工程的全流程匹配, 同时做好各关键工序所需时间把控, 及时做好进度纠偏管理, 才能做好项目全局进度把控。其中关键工序所需时间统计对于广东海上风电项目前期策划具备实际参考意义。[结论] 研究成果可作为广东海域类似工程项目进度管理参考。

**关键词:** 海上风电项目; 项目管理; 关键路径; 进度; 策划建议

中图分类号: TK89; F426

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)S1-0038-09

开放科学(资源服务)二维码:



## Brief Discussion on Schedule Management Planning of Guangdong Offshore Wind Power Project

HUANG Bin<sup>✉</sup>, WANG Donghui, YAO Yu

(Shenzhen Energy Group Co., Ltd., Shenzhen 518000, Guangdong, China)

**Abstract:** [Introduction] The purpose of this paper is to optimize the schedule management idea of offshore wind power projects, coordinate the resources in the management process, properly develop the top-level design of offshore wind power project management, grasp the key path in schedule management, effectively promote the project progress, help pool the resources to resolve risks, avoid or reduce construction delay, and improve the ability to manage the offshore wind power projects. [Method] This paper analyzed and summarized the key work contents and key nodes in the course of the construction of offshore wind power projects by collecting and analyzing the practical construction experience of offshore wind power projects in various domestic sea areas combined with critical path theory in the project management. Besides, it also summarized the time required for performing the key procedure in the course of the project construction according to the actual situation of offshore wind power projects in Guangdong so as to verify the accuracy of relevant process timing and the importance of key procedure. [Result] The results show that the critical path of offshore wind power project construction includes the delivery line, centralized control center, main submarine cable production and laying, step-up substation (converter station) construction, first loop foundation manufacturing and construction, fan manufacturing and hoisting, branch cable production and laying, grid connection debugging and defects elimination. The cores of schedule planning are as follows: On the premise of the overall construction sequence planning, properly match the survey and design, foundation engineering, fan engineering and submarine cable engineering throughout the process, control the time required for performing each key procedure, and promptly take appropriate corrective actions to manage the schedule, so as to control the overall project schedule. Among them, the time required for performing each key procedure has practical reference significance for the early planning of Guangdong offshore wind power projects.

[Conclusion] The research results can be used as a reference for the schedule management of similar projects in Guangdong sea area.

**Key words:** offshore wind power project; project management; critical path; progress; planning advice

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## 0 引言

中国海上风电至今走过了 15 年的发展历程。2007 年, 中国海油在渤海湾安装第一台试验样机; 2009 年, 沿海各省纷纷启动海上风电工程规划, 吹响了海上风电发展的号角; 2010 年, 上海东海大桥海上风电场建成投产, 这是中国海上风电发展史上里程碑的突破; 2011 年, 广东省海上风电工程规划率先获得国家能源局批复, 此后其他各省陆续颁布规划, 在规划引领下, 中国海上风电在此后 10 年得到了长足的稳健发展。截至 2021 年底, 全国海上风电累计装机约 26.39 GW, 装机跃居世界第一<sup>[1]</sup>。2021 年我国新增海上风电装机容量达到 16.9 GW, 较上一年增加约 452.3%, 发展十分迅猛<sup>[2]</sup>。2020 年 9 月 22 日, 我国提出“2030 年前实现碳排放达峰、努力争取 2060 年前实现碳中和”的目标<sup>[3-4]</sup>, 沿海主要省份“十四五”海上风电相关规划, 继续大力发展海上风电, 助力碳中和碳达峰目标实现, 如表 1 所示。同时随着 2021 年海上风电抢装潮结束, 中央财政自 2022 年开始不再

对新建设的海上风电项目进行补贴。各省份陆续出台了新的海上风电补贴政策。补贴力度已大幅度下降。海上风电项目将逐步进入平价上网的时代<sup>[5]</sup>。

在装机容量跃居世界第一的背景下, 在碳中和碳达峰长远目标引领下, 在平价时代降本增效的困难面前, 如何进一步提高项目进度策划质量, 细化项目过程管理能力, 做好项目进度管理, 实现海上风电高质量发展将成为重要议题。

## 1 国内近海海域特点

我国沿海海域面积大, 海域整体情况复杂。在渤海辽东湾北部主要为浅海区, 水深多小于 10 m, 海底表层为淤泥、粉质粘土、淤泥质粉砂、粉土和粉砂层, 呈现承载力小, 易液化, 不宜作持力层的特点; 底部沉积物以细砂为主, 承载力相对较大, 可作持力层。黄海海域主要为黄河泥沙冲淤区域, 大部分海域为淤泥质软基海底, 冲刷现象较为严重, 冬季有冰荷载的作用。东海海域平均水深在 5~15 m, 海域多为淤泥质软基海底, 总体呈现地基软淤泥深的特点。南海北部湾和琼州海峡的海底表层沉积物主要为颗粒较细的陆源碎屑堆积。琼州海峡侵蚀洼地的边缘和潮流沙脊下部发育有大中型沙波, 海底稳定性差, 沙波活动伴随着海底强烈冲刷、淤积及泥沙群体运动。南海的水深较大, 且海洋环境条件恶劣, 长期受到强台风影响。

我国沿海海域总体呈现地质情况复杂, 同时受天气、航道、管线、军事、保护区等多重因素影响, 因而项目进度管控在技术和环境方面面临极大的难度, 同时时间方面可作业窗口期异常进展, 进一步加大了进度管理难度。

## 2 海上风电项目主要工作内容

海上风电项目主要工作内容包含七大部分: 风机基础工程、风机安装工程、海缆敷设工程、海上升压变电站建造安装工程、陆上集控中心建筑及安装工程、钢结构制造工程、调试工程<sup>[7]</sup>。

常规风机基础类型包含单桩基础、导管架基础、

表 1 沿海主要省份“十四五”海上风电相关规划<sup>[6]</sup>

Tab. 1 "14th Five-Year" planning for offshore wind power projects in major coastal provinces

省份	政策文件	主要内容
江苏	《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划(征求意见稿)》	海上风电新增约 8 GW
浙江	《浙江省可再生能源发展“十四五”规划》	全省海上风电力争新增装机容量 4.5 GW 以上, 累计达到 5 GW 以上
广东	《关于印发促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展实施方案的通知》	到 2025 年底, 力争达到 18 GW
山东	《关于促进全省可再生能源高质量发展的意见(征求意见稿)》	全省海上风电争取启动 10 GW
海南	《海南省海洋经济发展“十四五”规划(2021—2025 年)》	浅海域优选 5 处项目场址, 总装机容量 3 GW, 2025 年实现投产规模约 1.2 GW

高桩承台基础、吸力筒基础、漂浮式基础等,风机基础工程为基础主体运输及基础安装工程,包括钢结构运输、现场沉桩施工、附属结构安装等。

风机安装工程常规为整体式、分体式及整体拖航等安装方式,主要包含风机主机设备预拼装、风机塔筒吊装、机舱吊装、叶轮组装吊装、电气安装等工作,以及后期的维护和保质期内的维修等内容。

海上升压变电站建造安装工程包含:海上升压站的钢结构材料、辅助电气、暖通设备等的采购、运输、检验、试验等工作,以及施工期的维护;海上升压变电站基础钢结构和上部组块的陆上加工、拼装、检验、调试、出场验收以及施工期的维护;海上升压变电站基础和上部组块的出运、海上绑扎运输、海上吊装和安装、监测、调试以及施工期的维护和保质期内的维修。

海缆敷设工程主要包含:施工前的扫海,海底电缆的运输、就位、始端登陆、铺设、终端登陆、检测等工作以及施工期的维护;海底电缆与其他管线穿越处的保护、特殊地段保护、防冲刷保护、电缆锚固保护等的施工。

陆上集控中心建筑及安装工程主要包含:房屋建筑工程,如主控楼、配电房、职工生活宿舍楼、库房及检修车间、其他房屋建筑工程;电气安装工程;园林绿化工程等。

钢结构制造工程主要包含风机基础的钢结构制造工程、塔筒的钢结构制造工程等。

调试工程主要依据有关技术规程、规范和标准,组织单台风机、单回路风机及整个风电场工程的调试、试运行验收。

综上可知,海上风电项目工作内容多,建设过程点多面广,交接界面多,梳理各工序逻辑,做好项目管理进度策划显得尤为关键,其中策划过程需涵盖勘察、设计、施工到投运全过程。

### 3 海上风电项目进度管理策划原则

以目标为导向,做好建设单位顶层策划,根据所在区域项目建设经验及实际情况,科学合理制定项目关键进度节点,并确保几大目标节点作为项目执行过程中重要奖惩依据。

以设计为龙头,做好项目勘察设计工作,根据项目节点要求,制定设计进度及出图计划,为现场进度

做好引领作用。

以并网为关键路径,做好项目并网关键路径中送出线路、集控中心、主海缆生产敷设、升压站(换流站)建造施工、首回路基础制造施工、风机制造吊装、支缆生产敷设、并网调试及消缺工作。确保首回路风机主进度按计划推进。

以回路为支线,做好施工顺序统筹安排,严格按照回路并网顺序进行基础钢结构预制,基础施工沉桩,风机吊装,支缆敷设,调试并网,消缺等工作,争取完成一回路,并网一回路,消缺一回路。

## 4 海上风电项目进度策划主要阶段

海上风电项目进度管理主要分为前期准备阶段、项目实施阶段、调试运行阶段和竣工验收阶段。

前期准备工作需 3 个月工期,主要工作为备料图纸出图,施工单位确定,采购工作开展,合同签订等,策划整体逻辑如图 1 所示。



图 1 风电场项目进度策划整体逻辑

Fig. 1 Overall logic of wind farm project schedule planning

根据海上风电特点,海上升压站、风机基础部分基本采用钢结构形式,且不同机位钢结构的尺寸及重量均不一致,每个机位的钢结构预制及供应顺序直接影响风机基础施工进度及回路完整性,风机基础施工顺序及回路完整性直接影响风机吊装、支缆敷设顺序,风机之间形成完整回路方具备回路并网条件,因而各工序在逻辑上环环相扣,钢结构预制顺序在源头上影响到后续风机回路并网工作顺序。

综上考虑,到前期准备环节对后续回路并网影响,在前期准备阶段需提前统筹,就应以回路为原则,做好准备阶段备料图出图计划,预制单位、施工单位分标方案,并按分标方案完成招标采购合同签订工作。以国内某风电场为例,根据整体风电场特点,充分考虑首回路并网施工难度,各基础、海缆施工顺序影响,在勘察、设计、招标、施工等环节,提前策划各回路勘察工作,指导设计出图,根据顺序进行招标及施工策划工作,确保项目整体可控受控。

以广东某风电场项目举例,如图 2 所示:

项目实施阶段策划主要包含:送出工程、陆上集控中心、主海缆生产制造施工、海上升压站生产制

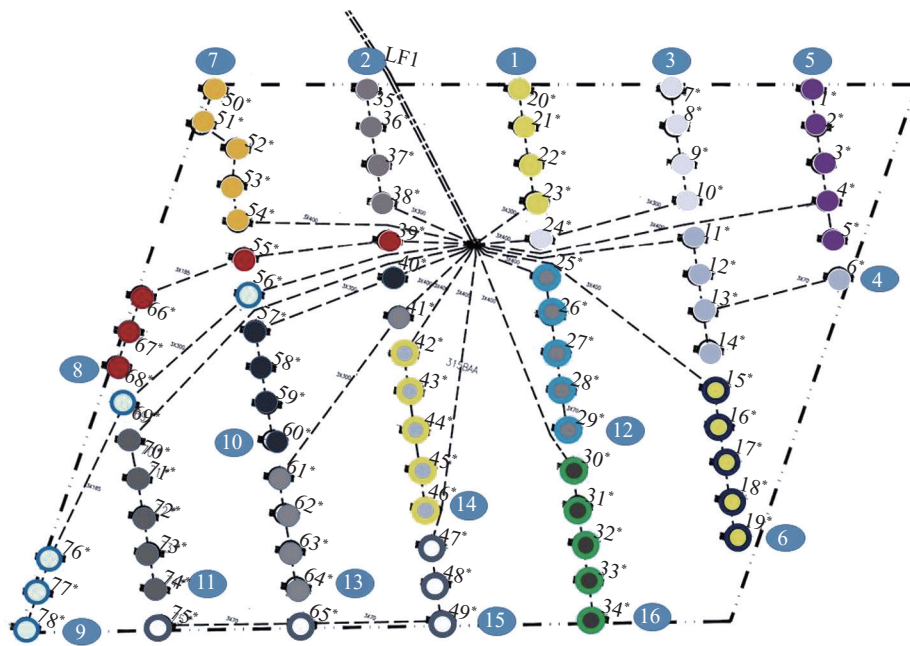


图 2 广东某风电场项目整体施工顺序策划

Fig. 2 Planning of the overall construction sequence of a wind farm project in Guangdong

造施工调试、支缆生产制造施工、风机工程(基础部分、风机部分、调试)等几部分。

如图 3 所示,海上风电项目策划阶段,红色框关

键路径部分策划应根据各环节合理施工周期,制定首回路风机并网节点,同时各工序按照关键路径并网节点要求,倒排工期计划。

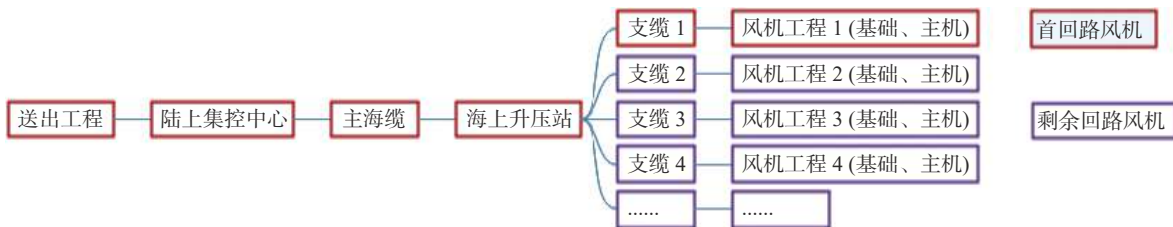


图 3 海上风电项目施工逻辑及组成

Fig. 3 Construction logic and composition of offshore wind power project

蓝色框重复单位工程部分策划应根据各项目建设环境、并网要求、资源投入力度等因素,合理选择平行施工作业面数量,力求达到预制厂家、运输船、施工船、吊装船数量相互匹配,资源利用率最大化。

以下梳理相关工程施工周期,供项目策划参考:

### 4.1 基础工程

根据广东区域某海上风电项目统计,基础工程主要工序大致所需时间如表 2 所示:

其中全年主要窗口期月份 4—9 月,单船单桩沉桩数量 6~8 根/月,单船导管架基础沉桩 4~6 台/月;窗口期不好月份 10 月到次年 3 月单船单桩沉桩数量 2~4 根/月,单船导管架基础沉桩 2~3 台/月。

策划阶段建议:

单桩基础形式施工工序少,施工周期短,在项目设计阶段可综合考虑施工成本和钢结构制造成本的前提下,优选单桩基础,可进一步缩短建设期,综合降低建设期成本。

海上风电施工受天气影响大,为进一步争取有限的窗口期,在项目开工第一时间需尽快开展基础、升压站备料图纸、开展钢板采购工作,同时根据项目特点,优选距离项目距离近,具备钢结构存储能力的加工企业。

基础施工顺序一定遵循发电回路原则,同时根据项目节点要求合理制定基础施工分标方案,通过

表 2 基础工程主要环节及所需时间

Tab. 2 Main links and time required for foundation engineering

环节	所需时间
钢板(订货+制造)	60 d
单桩预制	45 d
套笼预制	30 d
导管架小桩预制	30 d
导管架预制	60 d
单桩基础施工(沉桩+套笼安装)	5 d/根
导管架基础施工(沉桩+导管架安装+灌浆)	30 d/台
嵌岩桩基础施工	60 d/台

多标段锁定更多船机资源,保障海上施工。

## 4.2 风机工程

根据广东区域某海上风电项目统计,风机工程主要工序大致所需时间如表 3 所示:

表 3 风机工程主要环节及所需时间

Tab. 3 Main links and time required for fan engineering

环节	所需时间
钢板(订货+制造)	60 d
风机主机组装	20 d/台
风机叶片制造	20 d/台
塔筒制造	40 d/台
单台风机安装时间	2~3 d/台

全年施工窗口期良好月份 4—9 月,单船风机吊装数量 6 台/月,窗口期不好月份 10 月到次年 3 月控制单船风机吊装数量 1~2 台/月。

策划阶段建议:

风机制造过程属于连续制造,但同一回路风机塔筒电气柜有三进线、两进线 and 一进线等不同形式,不同机位风机之间不能完全替换,因此风机排产顺序和制造时间直接影响到项目现场关键路径的推进,需要匹配基础施工顺序。

同时需充分考虑风机安装效率与单桩基础施工效率、风机塔筒叶片运输船数量匹配程度,风机开始时间定在基础完成一定数量后开展,滞后基础施工开始时间 2~3 个月开展风机工程,同时以首批回路风机及海缆复杂位置风机为优先考虑,根据基础施工顺序,策划风机吊装顺序,争取按照回路完成基础施工、风机吊装。

在风机塔筒、单桩或导管架、海上升压站等钢结构生产阶段,要重点关注工厂的生产计划安排,针对工厂的原材料供货情况、产能、场地排产及工机具等情况,分析工厂的各个工序的安排是否合理,能否充分发挥该厂的产能,能否按照合同的交货时间要求完工<sup>[8]</sup>。

## 4.3 海上升压站建造、安装工程

根据广东区域某海上风电项目统计,海上升压站建造、安装工程主要环节大致所需时间如表 4 所示。

表 4 海上升压站建造、安装工程主要环节及所需时间

Tab. 4 Main links and time required for construction and installation of offshore booster station

环节	所需时间	备注
设计工作	2 个月	—
钢板备料制造	2 个月	—
海上升压站制造	6 个月	—
海上运输	海绑 7 d 运输 7~15 d	根据运输距离及海上窗口期而定
海上升压站安装 (吊装+焊接)	7 d	—

策划建议:海上升压站建造工程作为风电项目并网关键环节,其建设完成节点直接制约项目并网时间,在策划阶段应提前做好设计准备工作,确保施工图与现场进度相匹配,同时应加强建设过程中监造,避免出现质量问题导致进度滞后。

## 4.4 海缆工程

根据广东区域某海上风电项目统计,海缆工程主要环节大致所需时间如表 5 所示:

表 5 海缆工程主要环节及所需时间

Tab. 5 Main links and time required for submarine cable engineering

环节	所需时间	备注
海缆制造	6 个月	—
海上运输	装船 15 d 运输 7~15 d	视运输距离及窗口期而定
220 kV 海缆施工工期	1 个月	建议在海上升压站安装完成后再实施
35 kV 海缆施工	1 d/根	建议在风机安装工程开工 1~2 个月开始实施

策划建议:

220 kV 海缆敷设周期长,连续敷设周期需 10~

15 d 左右时间,对海上施工窗口期要求高,策划阶段需重点避开台风及冬季风季节敷设,避免由于台风导致割缆事件,施工周期集中在每年的 3—10 月份。

35 kV 海缆敷设船舶普遍抗风抗涌能力较差,施工过程受涌浪影响大,策划阶段尽量把敷设周期集中在每年的 3—9 月份。

#### 4.5 陆上集控土建工程及电气安装工程

根据广东区域某海上风电项目统计,陆上集控中心工作内容包包括土建工程、电气安装、调试工程工程。其中土建工程主要工程量包括土方开挖约 8 700 m<sup>3</sup>,土方开挖约 2 500 m<sup>3</sup>,混凝土约 3 400 m<sup>3</sup>,钢筋约 400 t,砌体约 3 540 m<sup>3</sup>,抹灰面积约 19 000 m<sup>2</sup>,地面约 5 500 m<sup>2</sup>。屋面保温层约 3 100 m<sup>2</sup>。电气安装工程包括 220 kV 升压变及附属设备相关设备,40.5 kV 铠装移开式交流金属封闭开关柜相关一次设备,计算机监控系统、继电保护和自动装置、在线状态监测系统等二次设备的安装、调试。调试工作包括陆上集控中心与电网电气设备联调、陆上集控中心与海上升压站电气设备联调、第一批风电机组(3 台)与海上升压站电气设备联调等。

各主要环节大致所需时间如表 6 所示:

表 6 陆上集控土建工程及电气安装工程  
主要环节及所需时间

Tab. 6 Main links and time required for onshore centralized control civil engineering and electrical installation engineering

环节	所需时间	备注
陆上土建施工	8~12个月	
电气安装	4个月	
调试运行阶段	3~6个月	所有风机全部完成
竣工验收阶段	2~3个月	

策划建议:

陆上集控中心为质量监督单位对工程质量检查重点,在项目策划阶段,应根据工程质量目标,提前做好检查策划。如计划创优项目,提前委托中国电力建设协会、专业档案管理机构、创优视频录制等外部单位对质量过程进行监督检查、对档案进行整理收集、对项目亮点进行挖掘记录。

创优项目在项目策划阶段,应提前做好项目亮点策划,装饰装修、园林景观等设计需委托专业设计

机构及分包单位进行施工,打造及提升整体品质。

#### 4.6 施工窗口期

海上风电项目施工设备主要是各类施工船舶,不同施工船舶的浮性、稳性及耐波性等性能差异较大,不同船舶的设计抗风能力、设计工作工况等有较大差别。其中影响海上风电施工的自然因素主要有风、波浪、海流、潮汐、浮冰、雨、雾、水深、台风等,其中水深、海流、潮汐等属于较为稳定的影响因素,浮冰、雨、雾、台风等因素属于短期影响因素,影响海上风电施工最大的因素是强风及波浪,强风往往伴随着强风浪。

为充分考虑海上风电场址的地理位置、地质条件、气候条件、海洋水文等条件对海上施工的影响,应充分利用施工窗口期提高工程建设效率。参照相关规范及国内海上施工单位的工程经验,海上施工建议停工标准如表 7 所示<sup>[9-10]</sup>。

表 7 海上施工建议停工标准

Tab. 7 Proposed stoppage standard for offshore construction

作业环境划分	停工标准	停工工序	备注
台风	停工	所有工序	船舶停避风港
雷暴	强雷暴	高空作业、吊装	—
洋流	≥2 m/s	船舶定位	定位精度控制
风速	≥6级	高空作业、吊装	吊装安全限制
雾日能见度	≤1 000 m	船舶运输	吊装安全要求
雨水降水量	≥10 mm/d	高空作业、吊装	吊装安全要求
波浪	≥2 m	高空作业、吊装	吊装安全限制

我国海域广阔,沿海近海区域风电设条件总体较为复杂,各近海区域差异大,存在冬季海冰、地震、淤泥、岩石/溶洞、浪涌、台风、大雾等不利建设条件,导致项目建设难度大、窗口期短、施工工期长<sup>[11]</sup>。各海域年可作业天数统计如表 8 所示。

表 8 各海域年可作业天数统计

Tab. 8 Statistics of operational days per year in each sea area

序号	作业海域	年可作业天数	主要可作业月份	主要影响因素
1	黄海海域	170~200 d	4—10月	浮冰、季风
2	东海海域	120~150 d	3—9月	台风、大雾、季风
3	南海海域	100~120 d	3—8月	台风、土台风、季风

注:可作业天数来源于黄海、东海、南海区域项目可研材料。

通过对项目各工程组成部分分析,根据项目的设计方案、技术路线、实施环境,在充分考虑可作业天数以及工序所需时间的基础上,制定合理的分标方案,投入匹配的施工资源,是一个海上风电项目进度策划成功的前提。

## 5 海上风电项目现场管理

海上风电项目现场管理主要针对海上实施的人员、船机、设备、环境及海上施工、技术文件的管理,做好人材机法环的统筹,制定有效执行的制度,是实现进度管控的必要条件。

### 5.1 海上风电管理类制度经验分享

海上风电管理制度须在实施前严格规范所有船机、人员、设备,以保证各个环节都处于可控状态,避免风险、事故发生。

**三级管理制度:**组建业主监理为一级指挥,总包为二级指挥,分包单位为三级指挥的现场指挥系统,保证现场的指令、工序安排、事件处理及时快速执行。

**通信频道管理制度:**海上施工船舶较多,施工指令交叉容易出现指挥错误,须约束管理通信频道。约定各个作业面,各船机设备为固定通信频道,不得进行混合交叉。基于海事高频 VHF 的船用对讲系统,在实现稳定的对讲通信的情况下,要做好固定通讯频道策划,防止交叉混合。施工过程中还可利用 AIS 接收机来获取周围船只的信息和地理位置,并同时进入警戒区域的船只进行记录的存档。也可利用海事电台(VHF 对讲系统)对进入警戒区域的船只进行选呼和发出警告<sup>[12]</sup>,确保施工期安全。

**每日跟踪机制:**每日跟踪统计海上人员及船机去向,所有人员、船机进出均须办理手续。

**技术交底及质量验收牌制度:**严格按照方案施工,每个工序责任到人,监理单位、总包单位、分包单位、厂家单位均参与验收,责任有图可追溯。

**经验反馈制度:**基础、风机施工完成,立即召开总结会议,归纳总结施工过程中发现的问题和宝贵的经验,并形成会议纪要,持续改进,提高施工质量和效率,并完善至施工方案中。

**标准化管理制度:**针对首台基础、首台风机、首根支缆敷设完成,组织设计、监理、施工、外部咨询等相关单位共同进行施工质量验收,针对过程中出

现的质量通病进行总结,反馈优化经验,打造样板工程,同时共同制定验收标准及手册,提高后续施工质量及标准化水平。

**高风险作业审批:**针对风险系数高的作业工序,例如起重作业、水下作业、密闭空间作业、带电作业等内容执行审批制,明确高风险作业范围,高风险作业过程人员分工,风险点,预控措施及应急方案等。

### 5.2 海上项目管理常用第三方服务及软件

准确可靠的气象服务是保障项目正常推进的重要前提,是施工决策的重要依据,因此海上天气预报通常采用多途径互相验证的方式执行,常规查询气象信息的网站及软件分享有:

**气象服务:**玖天气象、OWS 海上气象服务、全球潮汐、Windy、中国气象、机组风功率预测系统、慧风小程序等<sup>[13]</sup>。

同时为了有效进行海上船舶管理,实现防台期间进行高效统一调度,实时动态掌握船舶动态显得尤为重要,通常会在海上建立统一船舶调度指挥中心,负责整个海域之间船舶调度协调,包括船舶作业路径交叉作业分析,大型船舶抛锚范围审批等工作。常规查询船舶实时定位软件分享有:

**船舶定位软件:**船讯网。

如具备条件,亦可考虑引用漂浮式测风、固定式激光雷达测风等设备<sup>[14]</sup>,进一步提高现场海域天气预报准确性。通过以上措施超前了解海域风况、浪高、天气、台风、能见度等气象条件,有效控制施工质量及安全。

### 5.3 海上风电项目相关管理措施

海上风电现场实施须严格按照制定的方案,在实施过程总结存在的问题,进一步完善海上风电实施方案,形成制度化、程序化文件。实施过程中常采用以下管理。

**一机一方案:**每个机位的单桩、风机施工根据实际地质、海况、船舶等编制单机专项施工方案。针对可能发送的溜桩风险、穿刺风险进行提前分析,指定应对措施,做好应急预案。

**三级评审机制:**针对专项施工方案组织三级评审,完善方案的可实施性,一级总包评审,二级业主监理评审,三级专家评审。

**一本书:**单桩、风机施工工序成熟后,组织编制完整的施工质量管理手册。

## 6 结论

根据机构研究海上风速高, 风机单机容量大, 部分国内海域年运行小时数最高可达 4 000 h 以上, 海上风电发电效率较陆上风电年发电量多出 20%~40%。根据世界银行近期研究成果, 中国 5—50 m 水深海域, 理论装机容量约 1.4 TW; 50—200 m 水深海域, 漂浮式海上风电理论装机容量约 1.582 TW, 合计 2.982 TW, 总体呈现发电电量高、利用小时数高、电能质量高、靠近负荷中心的特点<sup>[15]</sup>。

随着我国碳达峰碳中和目标的明确, 随着海上风电平价时代的进一步发展, 我国海上风电产业高质量发展迎来关键时期, 本文分析了海上风电关键路径及关键工序所需的时间, 论述了关键路径及关键工序策划中的主要建议, 主要总结如下:

1) 海上风电项目是一个建设周期较短, 建设频率较快, 建设过程点多面广的过程。项目进度策划应根据实际情况, 仔细分析项目重难点, 关键路径, 重要工序内容, 并分析可能存在的影响进度的因素, 对症下药指定预控措施。

2) 充分发挥 EPC 总承包单位的牵头作用, 做好设计龙头引领, 根据关键工序的所需时间, 做好整体进度关键节点策划, 同时根据关键节点匹配合理的施工资源。

3) 根据关键路径, 按既定回路顺序开展设计工作、钢结构预制、基础施工、风机吊装、风机调试并网等工作, 过程中做好进度分析, 重点确保各施工作业面衔接工作, 为流水施工创造有利条件。

### 参考文献:

- [1] 元国凯, 李耀能, 卢钦先, 等. 以设计为龙头的海上风电工程总承包项目管理研究 [J]. *南方能源建设*, 2022, 9(1): 1-8. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.01.001.
- YUAN G K, LI Y N, LU Q X, et al. Research on design-led EPC project management of offshore wind power project [J]. *Southern energy construction*, 2022, 9(1): 1-8. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.01.001.
- [2] 中电联统计与数据中心. 2021-2022年度全国电力供需形势分析预测报告 [R]. 北京: 中国电力企业联合会, 2022.
- China Electricity Union Statistics and Data Center. Analysis and forecast report on national power supply and demand situation from 2021 to 2022 [R]. Beijing: China Electricity Council, 2022.
- [3] 姜红丽, 刘羽茜, 冯一铭, 等. 碳达峰、碳中和背景下“十四五”时期发电技术趋势分析 [J]. *发电技术*, 2022, 43(1): 54-64. DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.21030.
- JIANG H L, LIU Y X, FENG Y M, et al. Analysis of power generation technology trend in 14th Five-Year Plan under the background of carbon peak and carbon neutrality [J]. *Power generation technology*, 2022, 43(1): 54-64. DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.21030.
- [4] 万佑卿, 谢煜. 碳中和目标下我国减排机制的研究 [J]. *中国林业经济*, 2022(1): 99-103. DOI: 10.13691/j.cnki.cn23-1539/f.2022.01.021.
- WAN Y Q, XIE Y. Research on China's emission reduction mechanism under the target of carbon neutrality [J]. *China forestry economics*, 2022(1): 99-103. DOI: 10.13691/j.cnki.cn23-1539/f.2022.01.021.
- [5] 中国能源报. 我国海上风电迎来规模化发展黄金期 [J]. *稀土信息*, 2021(11): 36-37.
- China Energy News. China's offshore wind power has ushered in a golden period of large-scale development [J]. *Rare earth information*, 2021(11): 36-37.
- [6] 张嘉祺, 王琛, 梁发云. “双碳”背景下我国海上风电与海洋牧场协同开发初探 [J]. *能源环境保护*, 2022, 36(5): 18-26. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8759.2022.05.003.
- ZHANG J Q, WANG C, LIANG F Y. Preliminary study on cooperative development of offshore wind power & marine ranch in China under the background of "dual carbon" [J]. *Energy environmental protection*, 2022, 36(5): 18-26. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8759.2022.05.003.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 风力发电场项目建设工程验收规程: GB/T 31997—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Codes of construction acceptance on wind power plant project: GB/T 31997—2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [8] 张京伟, 李献军, 贾震江, 等. 海上风电总承包项目设备交付精细化管理研究 [J]. *电力勘测设计*, 2022(9): 1-6,82. DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2022.09.001.
- ZHANG J W, LI X J, JIA Z J, et al. Study on lean management of equipment delivery in offshore wind power EPC project [J]. *Electric power survey & design*, 2022(9): 1-6,82. DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2022.09.001.
- [9] 黄平乐, 何润财. 海上风电项目管理经验分享 [J]. *通讯世界*, 2021, 28(9): 100-102. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4222.2021.09.036.
- HUANG P L, HE R C. Offshore wind power project management experience sharing [J]. *Telecom world*, 2021, 28(9): 100-102. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4222.2021.09.036.
- [10] 刘晋超. 海上风电施工窗口期对施工的重要性 [J]. *南方能源建设*, 2019, 6(2): 16-18. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.003.



- LIU J C. Importance of window phase for offshore wind power construction [J]. *Southern energy construction*, 2019, 6(2): 16-18. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.003](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.003).
- [11] 蒋海波, 刘长栋. 我国海上风电发展现状研究及平价发展建议 [J]. *煤质技术*, 2021, 36(6): 70-76.
- JIANG H B, LIU C D. Research on the development of offshore wind power in China and suggestions for parity development [J]. *Goal quality technology*, 2021, 36(6): 70-76.
- [12] 杨源, 阳熹, 汪少勇, 等. 海上风电场智能船舶调度及人员管理系统 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(1): 47-52. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007).
- YANG Y, YANG X, WANG S Y, et al. Scheme design of intelligent vessel dispatching and personnel management system for offshore wind farm [J]. *Southern energy construction*, 2020, 7(1): 47-52. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007).
- [13] 孙鹏, 陈晓峰. 海上风电出海作业全流程安全管理 [J]. *企业管理*, 2021(增刊2): 46-47.
- SUN P, CHEN X F. Safety management of the whole process of offshore wind power sailing [J]. *Enterprise management*, 2021(Suppl. 2): 46-47.
- [14] 姚若军, 颜伟, 王从保, 等. 海上风电测风方式比较及数据浅析 [J]. *红水河*, 2022, 41(4): 68-73. DOI: [10.3969/j.issn.1001-408X.2022.04.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-408X.2022.04.014).
- YAO R J, YAN W, WANG C B, et al. Comparison and data analysis of wind measurement methods for offshore wind power [J]. *Hongshui river*, 2022, 41(4): 68-73. DOI: [10.3969/j.issn.1001-408X.2022.04.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-408X.2022.04.014).
- [15] 蔡绍宽. 双碳目标的挑战与电力结构调整趋势展望 [J]. *南方能源建设*, 2021, 8(3): 8-17. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002).

CAI S K. Challenges and prospects for the trends of power structure adjustment under the goal of carbon peak and neutrality [J]. *Southern energy construction*, 2021, 8(3): 8-17. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002).

#### 作者简介:



黄斌

黄斌(第一作者, 通信作者)

1991-, 男, 工程师, 毕业于上海工程技术大学材料成型及控制工程专业, 主要从事海上风电项目开发、海上风电施工技术及项目管理工作(e-mail)huangbine@sec.com.cn。



王董辉

王董辉

1990-, 男, 毕业于东北电力大学, 深圳能源集团海上风电办公室开发总监, 长期在电力系统从事火电及新能源的运营、开发工作(e-mail>wangdonghui\_sec.com.cn。



姚宇

姚宇

1987-, 男, 深圳能源集团项目发展部风光能源项目开发主任, 毕业于东北电力大学控制工程专业, 主要从事风电、光伏等项目开发管理及工程管理工作(e-mail)yaoyu@sec.com.cn。

(编辑 赵琪)