DOI 编码：10.13646/j.cnki.42-1395/u.2022.04.032

基于自升式平台的某海上风电场风机安装施工方案

朱璟赪

（上海勘测设计研究院有限公司，上海 200050）

摘　要：风机安装施工是海上风电场建设中的重要内容。在吊装风机及其附属构建的过程中，必须综合考虑船机、海况、风机型号等多种因素，选择合适的施工方案，保证风机安装的顺利施工。本文以江苏省某海上风电项目为例，研究了自升式平台风机安装施工方案的要点和难点，对海上施工的前期准备、施工过程提出有效的建议。

关键词：海上风电；风机安装；海上施工；自升式平台

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006—7973（2022）04-0095-03

自从 2009 年我国第一个海上风电项目——东海大桥 100MW 海上风电项目建成投产以来，我国海上风电项目正逐渐走向规范化、成熟化，每年开建的项目数量迅速增加[1]。2019 ~ 2021 年间，国内海上风电出现了抢装潮，对海上风机安装施工提出了很高的要求[2]。在实现“双碳”目标的大背景下，我国大力发展海上风电项目[3]。在可预见的未来，海上风电项目还会继续增加，因此，研究海上风机安装施工方案具有重要的意义。

自升式平台是近海大型作业施工项目的主要装备之一，对近海的风电安装作业起着重要的作用。自升式平台由于其造价低、运移方便、对海底地形的适应力强并且在各种海况下都能稳定的进行作业等特点，被广泛地应用在三百米水深以内的近海海域[4]。研究基于自升式平台的风机安装施工方案，对保障未来我国海上风电场开发、实现碳中和目标有重要的意义。

本文以江苏省某海上风电项目为依托，研究自升式平台风机安装施工方案的过程和要点，对海上施工的前期准备、施工过程提出有效的建议。

1 项目概况

本项目位于江苏省某海域。场址中心离岸距离 72km，理论水深在 7.5 ~ 20.9m。场址东西向长约 15km，南北向宽约 3.2km，场区规划面积 48km^2，规划装机容量 300MW。风电场拟安装单机容量 4.5MW 的风力发电机组 38 台，6.45MW 的风力发电机组 20 台，共 58 台机组，并配套建设一座海上升压站、一座海上高抗站和岸基集控中心。

2 自升式平台特性介绍

自升式专用安装船依靠桩腿的升降，在工作时避免了波浪载荷对平台稳定性的影响，且拥有精确定位和精确控制垂直度的优点。自升式平台将桩基定位、打桩、风电机组起重安装功能合为一体，大大提升了海上风电机组的安装效率[5]。

本项目的自升式平台是 2021 年建造完成的先进设备，甲板面积达 2000 平方米，具备国内主流大功率风机组机型吊装能力。最大作业水深 55m，配有一台 800t 主吊机以及一台 400t 履带吊。该自升式平台的主要参数见表 1。

表 1 自升式平台主要技术参数表

船长(m)	85.8	船宽(m)	40.00
型深(m)	7	主吊机载重量(t)	800
设计吃水(m)	4.7	辅吊机载重量(t)	400
结构吃水(m)	4.8	甲板载荷(t/m^2)	12
桩腿数	4	满载吃水(m)	4.7
自持力(d)	30	桩腿长（m）	91
		正常作业工况(m)	水深 25

3 风机组件海上安装施工方案

3.1 单台风机施工流程

单台风机施工流程主要分为三个部分：自升式平台进位、倒驳风机组件以及安装风机组件。详细的单台风机海上安装施工流程见图 1。

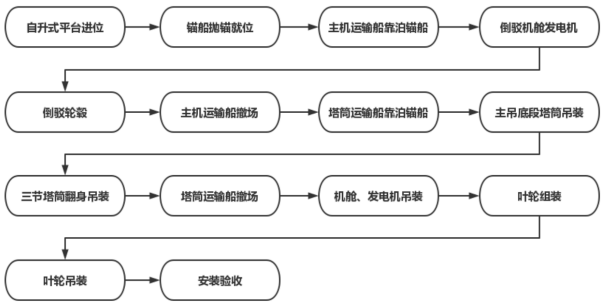

图 1 单台风机海上安装施工流程图

以图 1 为基础，进一步细化分解单台风机的施工流程，并在现场统计数据的基础上得出施工流程中每个环节的计划时间，可以得到单台风机的安装周期表，如表 2 所示。

表 2 单台风机施工周期

序号	工作内容		时间计划（h）	备注
1	船舶就位	船抛锚就位	2	
		船调载顶升	4	考虑潮流等待
		定位驳船抛锚就位	4	
		搭临时过桥梯	1	
		运输船船进场靠泊	1	
		各船绞船定位	1	
2	塔筒吊装	吊装组对	18	
		螺栓紧固	8	
3	机舱组合体吊装	机舱吊装	9	
		螺栓紧固	8	
		发电机吊装	9	
		螺栓紧固	8	
4	叶片吊装	叶片吊装	24	
		螺栓紧固	16	
5	检查及移位	安装后成品保护	7	
		定位驳船起锚移位	4	
		降船移位	7	不含下一机位就位，考虑潮流等待
合计			120h	

如表 2 所示，不考虑气象及海象条件造成的船舶进出场时间损耗，以及设备过驳时间，安装单台风机一共需要 120 小时。

3.2 自升式平台进位及倒驳

用拖轮将自升式平台拖至距离安装位置约 1 海里处，抛下临时定位锚，然后由拖轮绑拖至安装位置抛临时锚。抛完临时锚点后可开始抛锚定位。首先抛上风侧的锚及来流方向的锚，防止抛锚过程中发生走锚。抛锚船以最慢速逐渐接近定位锚点，经测量人员确认及抛锚船定位设备核实锚位后，抛下定位锚。抛锚过程中，驾驶员要密切观察船位，并考虑平潮缓流时间，尽量采用顶流抛锚，以便安全控制船位。

进位完毕后即可倒驳风机组件及塔筒。首先倒驳风机组件，如果现场海况良好，可同时进行组件的倒驳和安装作业。然后倒驳塔筒，塔筒运输时，下段立式运输，中上段采用卧式运输，所以倒驳前应调试翻身工装，在塔筒吊离甲板 3m 后，利用两套吊机完成塔筒的翻身作业。

3.3 塔筒安装

首先吊装底段塔筒。底段塔筒结构总长 16.8m，塔筒上下法兰外圆直径 7 米，底段塔筒总重 178t，考虑 1.25 倍动载系数，吊装总重约 222.5t。吊装采用 800t 主钩，作业半径为 42m，吊重能力为 360t，满足吊装要求。

塔筒安装前需清理即将对接的法兰面，保持法兰面的干燥清洁。吊装时，首先安装底段塔底法兰吊具，然后主钩缓慢带力，带力达到 10t 时停下，施工人员使用冲击扳手移除螺栓紧固塔筒的部分和海上交通框架的螺栓，并在底部法兰系 2 根长 5~10m 的绳子以备后续牵拉之用。牵拉尼龙绳连接完成后起吊塔筒，由 6~8 名施工人员通过栈桥到桩基础上进行观察、插螺栓、解扣工作。

中下段、中上段以及顶部塔筒的安装流程与底端塔筒类似。

3.4 机舱吊装

机舱发电机组合体总重 113.6t，考虑 1.25 倍动载荷系数后，吊装组合体总重为 142t，主吊 42m 吊装半径时起重能力为 360t，满足吊装能力要求。

机舱安装前，先检查机舱内外漆面及内部附件，然后拆除机舱内气相防锈剂。最后检查发电机与机舱连接法兰面，确保主轴法兰面清洁、机舱内外清洁。

安装完测风系统后，开始吊装机舱。首先理顺吊具，确保各部件正确受力，起吊方式见图 2，机舱安装时，吊机起吊吊点 1 和 2。

安装机舱吊具时，需安装揽风绳，以避免吊具晃动磕碰到机舱。缆风绳一共两根，一根安装到机舱口侧，一根安装到机舱尾部。

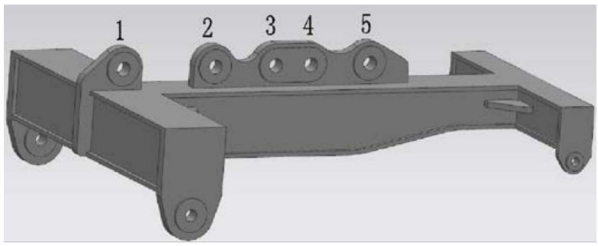

图 2 机舱吊具安装示意图

吊具安装完成后，用主吊将机舱提升至运输支架法兰面以上，并将长 20m、承受能力 2t 的吊带系在机舱底法兰爬梯上。之后开始对接机舱与塔筒。先手工穿入连接螺栓及垫圈，用电动扳手按十字对角线方向预紧螺栓，预紧力矩不能超过总力矩的 50%，剩余力矩分两次紧固。然后对接完成后拆卸机舱吊具，并立即恢复机舱罩顶部 2 个盖板，防止机舱进水。最后卸下缆风绳，完成机舱吊装。

3.5 发电机吊装

发电机总重 159.43t，考虑 1.25 倍动载荷系数，吊重为 199.29t，主吊 42m 吊装半径时起重 能力为 360t，满足吊装要求。

吊装发电机前，先要去除防雨布，拆除气象防锈漆，检查发电机漆面、集气瓶、发电机出线电缆，并测试发电机绝缘性能。完成上述工作后安装吊具，如图 3 所示，图中标记挂主钩和辅钩的吊点安装吊带。

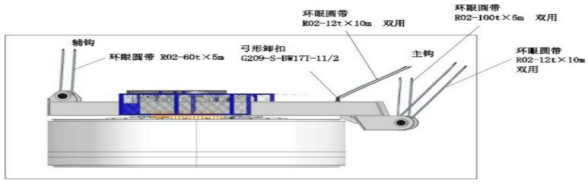

图 3 发电机吊具安装示意图

主吊辅吊共同将发电机连同运输支架吊起后拆卸发电机与运输支架连接处的螺栓，拆除运输支架。然后如图 4 所示，主钩和辅钩同时起吊，起吊到一定高度时，辅助吊车缓慢落钩，主吊车缓慢升钩，将发电机从水平状态翻转成 +7° 状态，摘掉辅助吊钩吊带，完成发电机的翻身。

发电机翻身完成后，吊车将发电机逐渐靠近机舱，发电机法兰孔与机舱底座法兰孔对接。

3.6 叶轮组装与吊装

轮毂工装应在自升式平台的甲板上按照厂家的焊缝要求提前焊好，并将轮毂吊至叶轮组装位置就位。给变桨系统提供 380V 的交流电源后，接好手动变桨控制盒，使其具备变桨条件。

然后，按厂家要求在叶片指定位置布置吊索具叶

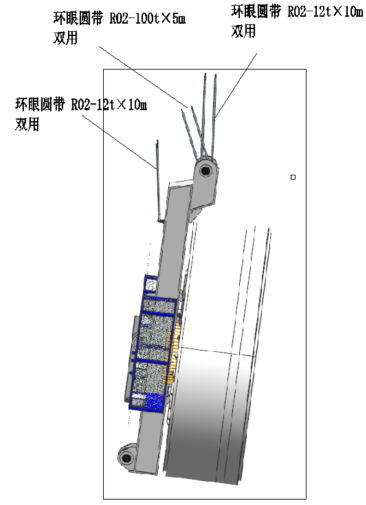

图 4 发电机翻身示意图

片的吊点，需在吊点处用护板保护叶片。叶片对接完成后，安装导流罩前盖板。

安装叶片吊具时，先在叶尖侧布置缆风绳，防止吊装过程中出现巨大摆动及旋转。吊带与缆风系统准备就绪后，拆除轮毂上的工装螺栓，缓慢抬吊叶轮。在抬吊到一定高度后，主吊继续抬升，辅吊跟进，进行叶轮翻身。叶轮达到竖直状态后，拆除辅助吊具，进行轮毂对接。对接成功后按要求进行螺栓紧固，并进行叶轮机械和液压锁锁定。

4 结语

本文以江苏省某海上风电场项目为例，对其风机安装施工方案进行了研究。海上风电场存在施工环境复杂、作业窗口期不确定性高、施工精度控制要求高、施工管理调度难度大的特点，风机安装施工方案是整个风电场成功建设运营的关键所在，不同海况和船机设备下的施工技术仍需进一步提高。在合理的施工方案选择的基础上，必须要做好正确的施工设备配备，才能确保风电机组安装施工顺利完成，为风电场后续的建设运营打下良好基础。

参考文献：

[1] 凌佳楠 . 某海上风电场风电机组基础的施工设备配备方案研究 [J]. 太阳能 , 2020(9):5.

[2] 时智勇 , 王彩霞 , 李琼慧 . " 十四五 " 中国海上风电发展关键问题 [J]. 中国电力 , 2020, 53(7):10.

[3] 黄友超 . 船舶载运海上风电大型构件问题与对策 [J]. 中国水运 , 2021(12):4.

[4] 曾莲 . 自升式钻井平台升桩动力学研究 [D]. 西南石油大学 , 2014.

[5] 汪峥 . 40m 自升式风电机组安装船设计研究 [J]. 船舶与海洋工程 , 2015, 31(6):3.