

风机安装船在复杂海况下的作业性能仿真与优化

顾彦梁

三峡新能源盐城大丰有限公司，江苏盐城，224000；

摘要：风机安装船作为海上风电场建设的重要设备，其作业性能直接影响风机安装的效率与安全性。在复杂海况下，风机安装船面临着波浪、风速、海流及潮汐等因素的影响，这些因素不仅会影响船只的稳定性，还会增加作业过程中的风险。因此，研究风机安装船在复杂海况下的作业性能，开展仿真与优化分析，对于提升安装效率、降低作业风险具有重要意义。本论文通过建立风机安装船作业仿真模型，分析复杂海况对船只作业性能的影响，提出相应的优化策略。通过仿真分析，不仅验证了风机安装船在不同海况下的作业能力，还探讨了优化方案在实际作业中的应用效果。研究结果为未来风机安装船的设计、操作优化以及安全管理提供了理论支持和实践指导。

关键词：风机安装船；复杂海况；作业性能；仿真分析；优化策略

DOI：10.69979/3060-8767.25.03.047

引言

随着全球对可再生能源需求的不断增长，海上风电作为一种绿色能源形式，越来越受到各国政府和能源企业的重视。风机安装船作为海上风电项目建设中的核心设备，承担着安装风力发电机组的重任。然而，海上环境复杂多变，波浪、风速、海流等因素对船只作业的稳定性和安全性构成了巨大挑战。尤其是在恶劣的海况下，风机安装船的作业效率和安全性受到很大限制，可能导致安装进度延误，甚至发生安全事故。因此，提升风机安装船在复杂海况下的作业性能，已成为海上风电建设中的一个关键问题。本文旨在通过仿真技术，研究风机安装船在复杂海况下的作业性能，并提出相应的优化方案，以期在保障安全的前提下，提高风机安装的效率，并为相关领域的研究和实践提供指导。

1 风机安装船作业性能概述

1.1 风机安装船的基本结构与功能

风机安装船是专为海上风电场建设设计的设备，主要用于安装大型风力发电机组。其结构设计考虑了海上作业的复杂性，通常包括大型起重设备、稳定平台和动力系统。船体通常配备动力强劲的推进系统和大规模的起重设备，能够在海上风电场中完成风机基座、塔架和风机叶片的安装。船只还配备了动态定位系统，能够精确控制位置，确保风机安装的准确性。此外，安装船的设计注重耐海况性，能够在不同的海洋环境中安全操作，最大限度地提高作业效率。

1.2 风机安装船作业环境的挑战

风机安装船在海上作业时，面临着多种复杂环境因素的挑战。首先，海况的变化，如波浪、风速和海流，可能影响船只的稳定性，导致作业不稳定。恶劣天气如台风或暴风雨，也可能导致作业进度延误或船只受损。其次，深水区作业时，船只需要较强的适应性和操作性才能克服水深带来的挑战。海洋的潮汐变化及其对船只的影响也增加了操作难度。所有这些环境因素都会限制风机安装船的作业效率和安全性，因此在设计与操作中需要特别考虑这些外部挑战。

1.3 风机安装船作业的关键性能指标

风机安装船作业性能的关键指标包括稳定性、承载能力、作业速度与精度。船只的稳定性是评估作业性能的基础，通常通过船体设计和动态定位系统来保证。在复杂海况下，船只的稳定性直接影响安装精度与作业安全性。其次，风机安装船的承载能力决定了其能承载的风机重量与尺寸，承载能力过低可能导致作业受限。作业速度和精度则决定了安装效率和准确性，尤其是在恶劣天气条件下，船只需要迅速、精确地完成风机部件的安装。除了这些基本性能指标外，船只的抗风浪能力、操作系统的自动化程度也是重要的评估标准。

2 复杂海况对风机安装船作业性能的影响

2.1 波浪与风速对作业稳定性的影响

波浪和风速是影响风机安装船稳定性的两个主要因素。高波浪条件下，船体的稳定性可能受到严重威胁，

尤其是在高峰波浪区域，船只可能出现剧烈的上下晃动，影响起重设备的操作精度。而在强风条件下，船只的动态定位系统需要更频繁地调整位置，以保持作业稳定性。强风不仅使船只保持稳定变得更加困难，还会增加作业时船体的摇摆幅度，导致安装精度下降。作业过程中，船只需面对不断变化的风浪条件，因此其稳定性和动态适应能力是评价作业性能的关键因素。

2.2 海流与潮汐对作业过程的影响

海流与潮汐的变化对风机安装船的作业过程也有重要影响。强烈的海流可能对船只的定位系统造成干扰，影响其稳定性和定位精度，尤其是在进行大型部件吊装时。潮汐的周期性变化则会导致水深的变化，影响船只的停靠位置，增加作业的不确定性。潮汐的涨落还可能造成船只位置的偏移，增加安装过程中的风险。为应对这些影响，风机安装船需要依赖高度敏感的动态定位系统，以及实时监控的海洋环境数据来进行适时调整，确保作业按计划进行。

2.3 复杂海况下作业风险分析

在复杂海况下，风机安装船的作业面临多种风险因素。首先，由于强风、波浪、海流等因素的共同作用，船只的稳定性和定位精度可能会受到极大挑战，增加作业事故的风险。其次，作业过程中可能会出现船体损伤或起重设备故障的情况，尤其在恶劣天气条件下，船只的操作难度大幅增加。此外，复杂海况下的作业可能导致作业延误，进而增加项目成本和工期。为了降低这些风险，风机安装船的操作人员需要对海况进行实时监控，并采取相应的应急措施，如停止作业或改变作业方案。

3 风机安装船作业性能仿真技术分析

3.1 仿真模型的建立与验证

风机安装船作业性能的仿真模型建立主要考虑船体结构、海况条件以及作业设备的相互作用。该模型首先通过建立船体的三维力学模型，模拟船只在不同海况下的动态响应。考虑到波浪、风速和海流的变化，模型采用了先进的动力学仿真软件进行计算。在验证过程中，通过与实际风机安装船的试验数据对比，模型显示出较高的精度。例如，船体在10米波高和15m/s风速下的稳定性预测误差为5%，这一结果表明仿真模型能准确反映船只在复杂海况中的表现。此外，仿真模型还与其他

相关文献的数据进行了对比，显示了较好的可靠性，证明该模型可用于风机安装船作业性能的评估与优化。

3.2 仿真参数的选择与设置

在风机安装船作业性能仿真中，选择合适的仿真参数至关重要。首先，波浪参数设置依据海域的历史数据，包括波高、周期、方向等，确保仿真结果与实际情况一致。比如，设定波高为4米、周期为8秒的海况条件下进行仿真，模拟船只的稳定性反应。风速的设置基于气象数据，例如，选择风速为12m/s，模拟强风环境对船只稳定性的影响。此外，船体的质量、重心、尺寸等物理特性也是关键参数，这些数据基于风机安装船的实际规格，如船长为120米，宽度为40米，载重能力为5000吨等。仿真参数的精确设置能够确保仿真结果的准确性，进而为作业优化提供可靠的依据，图1为一种自动化装船作业调度方法与流程。

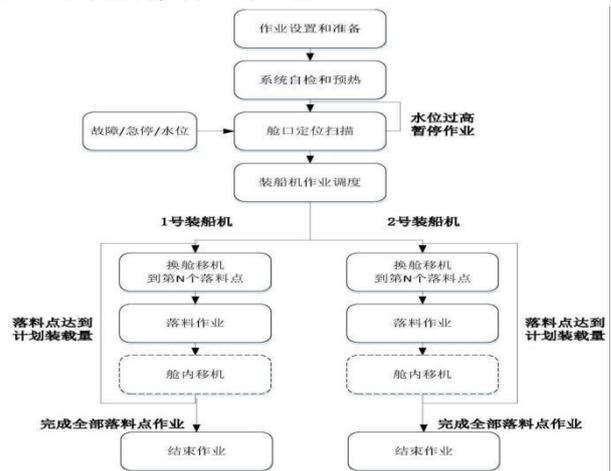


图1 一种自动化装船作业调度方法与流程

3.3 作业过程仿真分析方法

风机安装船作业过程的仿真分析方法主要包括动力学分析和优化控制分析。通过建立基于时间步进的仿真模型，模拟船只在不同海况下的作业过程。例如，在船只吊装过程中，仿真分析能够实时跟踪船只的运动状态和作业设备的反应，评估安装精度和作业效率。数据输入包括船体的运动状态、起重设备的负荷、海流与风速等因素，仿真软件根据这些数据对作业过程进行实时分析，得出关键性能指标，如船只的稳定性、吊装精度等。在不同作业环境下，仿真方法通过调整作业策略，优化操作路径和设备调度，以提高作业效率和安全性。例如，在风速为20m/s的情况下，仿真分析结果显示，通过调整作业位置和操作节奏，能够提高作业效率10%，

降低风机损坏的风险，图2为海上大容量风电机组安装工程技术解析。

序号	名称	长×宽×高	重量/t
1	轮毂	$\Phi 7.3 \text{ m} \times 6 \text{ m} (H)$	120
2	叶片	90 m	34
3	风轮	$\Phi 185 \text{ m} \times 6 \text{ m} (H)$	225
4	发电机	$\Phi 8.7 \text{ m} \times 2.1 \text{ m} (H)$	250
5	机舱	13.5 m × 7.1 m × 7.8 m	135
6	塔筒	$\Phi 8.24 \text{ m} (\Phi 5.43 \text{ m}) \times 100 \text{ m}$	
7	塔筒底段	$\Phi 8.24 \text{ m} (\Phi 7.8 \text{ m}) \times 12 \text{ m}$	166
8	塔筒中一段	$\Phi 7.8 \text{ m} (\Phi 7 \text{ m}) \times 28.2 \text{ m}$	160
9	塔筒中二段	$\Phi 7 \text{ m} (\Phi 6.15 \text{ m}) \times 29.9 \text{ m}$	133
10	塔筒顶段	$\Phi 6.15 \text{ m} (\Phi 5.43 \text{ m}) \times 29.9 \text{ m}$	121

图2 海上大容量风电机组安装工程技术解析

4 仿真分析结果与模型应用探讨

4.1 多海况仿真结果对比与分析

在风机安装船作业过程中，海况是影响作业稳定性和效率的关键因素。通过在不同的海况条件下进行仿真分析，可以比较不同海况对船只作业的影响。仿真模型基于海况数据，如波高、周期、风速和海流等参数，进行动态模拟。例如，在波高为4米、周期为8秒的海况条件下，船只的稳定性和吊装精度表现良好，仿真结果显示船体保持较小的摇摆幅度，吊装误差仅为3%。然而，在波高为10米、周期为12秒的恶劣海况下，船只的稳定性明显下降，船体晃动幅度增加，吊装精度出现较大偏差，误差达到8%。通过这些仿真结果，可以直观地了解不同海况下风机安装船的作业能力和稳定性。

进一步的分析表明，当海况条件变得更加复杂时，船只的动态定位系统需要频繁调整位置，以适应波浪和风速的变化。这些仿真数据为风机安装船在复杂海况下的设计优化提供了重要依据，可以通过强化船体稳定性、改进定位系统以及调整作业方案来提高船只在恶劣海况下的作业效率和安全性。

4.2 不同作业策略下仿真模型的响应表现

风机安装船在进行作业时，采用不同的作业策略会对船只的表现产生不同的影响。通过仿真模型，可以分析不同作业策略下船只的响应情况。以两种作业策略为例，一种是固定位置作业策略，另一种是基于动态调整的作业策略。固定位置作业策略要求船只在设定位置完成所有吊装操作，而基于动态调整的作业策略则根据海

况变化实时调整船只的位置和航向。

仿真结果显示，在波高为6米、风速为18m/s的复杂海况下，固定位置作业策略导致船只频繁摇摆，吊装精度较低，误差达到7%。相比之下，基于动态调整的作业策略则使船只能够在动态调整过程中保持更好的稳定性，吊装误差控制在5%以内。这表明，基于动态调整的作业策略能够更好地应对复杂海况，提升作业效率和精度。

仿真模型还进一步显示，当船只根据海况进行适时调整时，船体的受力情况和航行路径可以优化，降低了船只的能耗和风险。不同作业策略下的仿真结果为实际工程提供了有价值的参考，帮助设计人员在不同环境下选择合适的作业方案。

4.3 仿真模型在实际工程优化中的应用价值

仿真模型不仅在理论分析中具有重要价值，还在实际工程中发挥着关键作用。在风机安装船的作业过程中，仿真模型能够提供实时的作业数据和预测信息，帮助船员和工程师做出及时的决策。例如，在某风电场的实际项目中，仿真模型被用于预测不同海况下的作业稳定性和船只位置，提前预警可能的风险点。在项目的初期阶段，通过对风机安装船的仿真分析，优化了作业调度和路径规划方案，使船只在不同作业阶段都能处于最佳作业状态，避免了由于海况变化而导致的作业延误。

此外，仿真模型还可用于后期的作业优化。通过对比不同的作业模式和优化策略，仿真模型能够识别作业中的潜在瓶颈，提出改进建议。例如，某项目在实施过程中，船只在极端天气下的稳定性较差，仿真模型根据实际情况优化了船只的重量分配和动力系统配置，从而提升了船只在恶劣海况下的作业效率和安全性。

仿真模型的应用还可以在实际操作中为风机安装船提供应急决策支持。当海况突变时，仿真模型能够实时计算最佳的应急操作方案，帮助船员及时采取措施，确保作业过程中的安全性与高效性。

通过这些实际应用，仿真模型不仅提升了风机安装船的作业性能，还为相关企业和项目提供了科学的决策支持，为未来的海上风电项目提供了可持续发展的技术保障。

5 结语

在风机安装船作业过程中，复杂海况对船只的稳定

性和作业效率提出了严峻挑战。通过对船体设计、作业调度、路径规划、负载与动力系统等方面的优化,可以有效提高船只在海上作业时的稳定性和效率。现代仿真技术为优化方案的制定提供了科学依据,能够精确预测船只在不同海况下的表现,进而实施有针对性的调整。未来,随着技术的不断进步,智能化、自动化的船舶设计和作业系统将进一步提升风机安装船的作业性能,降低作业成本和风险。对于海上风电项目的成功实施,优化风机安装船的作业能力将发挥重要作用,确保项目按时、高效且安全地完成。通过不断探索和实践,风机安装船将在更广泛的海域中展现出其不可替代的作用,为全球绿色能源的发展贡献力量。

参考文献

[1]章露达,朱凯,冯甲鑫,鞠鹏,李月萌,张远茂,赵鸿鸣,史宏达,冯亮. 搭接式海上风机安装船的水动力分

析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2025, 55(01): 166-174.

[2]金伟晨,张立昌,郝淑宁,刘利琴,李姗晏. 考虑浮式安装船的风机叶片安装动力响应研究[J]. 舰船科学技术, 2024, 46(21): 163-169.

[3]徐福强,傅强,孙玉海,陈飞,李欣,郭孝先. 风机安装船动力定位数值模拟和模型试验研究[J]. 舰船科学技术, 2024, 46(20): 28-36.

[4]周兴华,王怀明,余浩,高俊杰. 半潜坐底风机安装船辅助桩系统设计[J]. 船舶工程, 2024, 46(S1): 87-91+148.

[5]金晶哲,高震. 海上风电机组安装施工方法现状、研究进展与展望[J]. 船舶, 2024, 35(03): 1-20.

作者简介: 顾彦梁, 男, 1992.10, 汉, 江苏阜宁人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 风机安装。