

Discussion on Safety Risk Management Model and Application in Offshore Wind Power Project Construction

Jintao Zheng

Offshore Petroleum Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract

Under the backdrop of the “dual carbon” policy, China’s offshore wind power is moving towards large-scale and deep-sea development. However, it is confronted with numerous challenges such as complex hydrological and meteorological conditions, harsh working environment, dense cross-operation, and difficult emergency response. Safety risk control has become a key factor determining the success or failure of the project. This paper conducts a systematic analysis of the safety risks in offshore wind power projects, summarizes the problems existing in the current mainstream management models, and proposes a closed-loop risk management model suitable for the offshore environment throughout the entire life cycle. The main purpose of this paper is to provide a reference for the improvement of the safety management system for offshore wind power and promote the high-quality and safe development of the offshore wind power industry.

Keywords

offshore wind power; engineering construction; safety risk management; closed-loop management; risk classification control

海上风电工程建设安全风险管理模式与应用探讨

郑金涛

海洋石油工程股份有限公司, 中国 · 天津 300450

摘 要

在“双碳”大背景之下,我国海上风电正在向规模化、深远海化迈进,但是面临着水文气象复杂、作业环境恶劣、交叉作业密集、应急处置难等诸多难题,安全风险控制成了决定项目成败的关键因素。本文对海上风电工程安全风险进行了系统的分析,总结出目前主流的管理模式存在的问题,并且提出了一种适合于海上环境的全生命周期闭环风险管理模式。本文主要目的是为海上风电安全管理体的完善提供借鉴,促进海上风电产业高质量安全发展。

关键词

海上风电; 工程建设; 安全风险管 理; 闭环管 理; 风险分级管 控

1 引言

伴随着能源结构转型的不断深入,海上风电成为新能 源的核心赛道,“十五五”规划目标到 2030 年海上风电装 机量达到 150GW 以上,正在向水深大于 50 米、离岸大于 50 公里的深远海发展。海上工程与陆上相比,存在勘察、 施工、吊装等复杂的环节,受到台风、浪涌等恶劣海况的影 响较大,而且高空、水下、起重等高风险作业并存,事故诱 发因素繁杂,处置起来极为困难。目前部分项目还采用陆上 管理方式,体系不匹配、管控制裂、应急能力差等问题仍然 存在^[1]。就海上风电的特殊性展开安全风险管 理优化研究, 对于保证工程的安全以及推动产业的高质量发展有着十分 重要的实践意义。

【作者简介】郑金涛(1983-),男,中国河北保定人,本 科,中级职称,从事项目HSE管理研究。

2 海上风电工程建设安全风险的特征

2.1 风险源的复杂性与强耦合性

海上风电工程建设的风险源包括自然环境、工程技术、 管理体系、人员行为、设备设施等各方面,各种风险源并不 是孤立存在的,而是存在着明显的耦合放大效应。自然环境 方面,施工海域的海洋地质情况比较复杂,存在着软土地层、 浅层气、海床冲刷等不良地质状况,台风、季风、突发强对 流天气等气象灾害具有不可预见性,会对施工船舶的定位精 确度以及起重吊装作业的安全稳定造成影响,工程技术人员 层面,各个施工环节的技术工艺存在较大差别,单桩基础沉 桩、风机分体吊装、海缆埋深敷设等工序都存在特别的技术 风险,而且各个工序之间相互交叉作业,前一工序留下的施 工质量隐患会直接传递到下一环节,从而产生风险叠加放大 效应。

2.2 风险的突发性与应急处置高难度

海上气象环境具有明显的突发性,短时大风、浓雾、

浪涌突然变化等极端海况和气象灾害可以在短时间内形成,很容易造成船舶碰撞、人员落水、设备倾覆等安全事故,风险预警和处置的窗口期很短。同时,海上风电项目大多离岸距离较远,施工现场和岸基的通信联络稳定性较差,在事故发生后,岸基应急救援力量很难在黄金救援时间内赶到现场,海上医疗救护、设备抢险、人员疏散的难度远远大于陆上工程,一旦发生事故,很容易造成群死群伤、重大设备损毁和海洋生态环境污染等恶性后果。

2.3 风险管控的高合规性与高成本属性

海上风电工程建设受到海事管理、海洋生态环境保护、通航安全管理、安全生产监督等多部门的协同监管,项目建设要符合《海上风电工程海事安全管理办法》、《海洋环境保护法》等各项法律法规和规范标准的要求,安全管控的合规性边界清楚,管控要求严格^[2]。同时海上风电施工需要使用大型起重船舶、专用施工平台、特种作业设备等重型设备,设备安全运维、作业人员海上安全防护、应急物资前置储备等都需要大量的专项安全投入,安全管控成本占项目建设总成本的比例明显高于陆上工程,安全投入不足会直接导致风险管控能力降低,产生系统性的安全隐患。

3 海上风电工程建设安全风险管理模式现存问题

3.1 风险管理体系碎片化,缺乏全生命周期闭环管控

目前大部分项目安全风险管控还只停留在施工建设阶段,未能形成覆盖勘察设计、招投标采购、设备监造、施工建设、竣工交付全过程的全生命周期管控体系。勘察阶段对于海洋地质、水文气象数据的勘察和分析深入不足,本质安全设计理念落实不到位,造成部分设计阶段遗留下来的隐患在施工阶段集中暴露出来,未能从源头上避免风险;招投标阶段出现恶性低价中标的情况,中标单位的安全投入、海上作业资质及管理未能满足项目要求,分包环节的层层转包问题,使得安全管理责任无法落实到作业末端,形成了重施工、轻前期、重结果、轻过程的碎片化管控局面^[3]。

3.2 风险识别与评估量化不足,管控精度不足

目前行业内主流的风险识别和评估工作仍然采用专家经验法、定性打分法,未能建立适合海上风电工程建设场景的专项风险数据库,对于行业历史事故案例、同海域已完工项目施工数据、水文气象长期监测数据的整合与应用不够,造成风险评估结果主观性强、量化程度低。大多数项目未能建立分级分类的动态风险管控清单,对于重大风险和一般风险的管控措施未能做差异化设计,未能实现“一风险一策”的精准管控,风险识别的全面性和评估的准确性未能满足海上高风险作业的管控要求。

3.3 管控体系与现场执行脱节,存在“两张皮”现象

部分施工企业虽然已经建立起了体系化的安全管理制度,但是制度的要求同海上作业现场的实际场景相契合不

够,可操作性较差,造成制度落实流于形式。现场作业过程中存在安全技术交底不到位、特种作业人员资质不符、作业票制度执行不严格、关键工序旁站监理缺位等现象,作业人员的不安全行为、设备设施的不安全状态未能及时发现和纠正。分包单位的安全管控普遍缺失,未能将分包队伍纳入到项目统一的安全管理体系中,造成安全管理责任的传导断层,各项管控要求未能有效地落实到作业班组和一线作业人员身上。

3.4 应急管理体系适配性不足,应急处置能力薄弱

大部分项目的应急预案直接套用陆上风电工程的编制框架,未能根据海上作业频繁发生的主要事故场景编制专项应急预案和现场处置方案,对于船舶碰撞、人员落水、台风避险、海缆破损等典型场景的应急处置流程、责任分工、处置要点不清。应急演练大多采用桌面推演的形式,缺少海上实景实战化的演练,作业人员和应急队伍的现场处置能力未能得到有效的检验。应急救援力量和应急物资的前置化、常态化部署严重缺乏,未能同海事管理部门、专业海上救捞机构建立常态化的应急联动机制,应急指挥体系跨部门协同性差,事故发生之后很难实现快速响应、高效处置。

4 海上风电全生命周期闭环安全风险管理模式构建

4.1 完善全生命周期风险前置管控模块

以本质安全为根本方向,将风险控制的关口前移到项目全流程各个环节的各个环节。勘察阶段开展高分辨率海洋地质勘察和长序列水文气象监测分析,全面了解施工海域不良地质条件和灾害性天气、极端海况发生规律,在设计环节优化基础结构形式、施工工艺方案和可作业窗口设计,从源头上规避和降低施工安全风险;招投标采购阶段,建立严格的施工单位、分包单位资质准入和能力审核机制,重点审核投标单位的海上同类项目作业业绩、安全管理体系运行情况、特种作业资质和核心施工设备能力,从源头杜绝恶性低价中标行为,在合同条款中明确界定安全责任边界和专项安全投入的硬性要求;设备监造阶段,对风机主机、基础钢结构、海缆等核心设备和构件进行全过程质量监造,保证设备和构件的质量达到海上作业的安全技术要求,防止由于设备缺陷造成施工安全事故。

4.2 优化量化分级的风险识别与评估体系

整合行业历史事故案例、同海域已完工项目施工数据、水文气象长期监测数据,创建海上风电工程建设专项风险数据库,用LEC风险评价法和模糊综合评价法相结合的方式,对勘察阶段、基础施工、风机吊装、海缆敷设、并网调试等全流程各个环节的风险源进行全面识别,从风险发生概率、事故后果严重程度、管控难度这三个主要方面进行量化评估,将风险分成红、橙、黄、蓝这四个等级,创建起动态更新的分级管控清单。对红色等级的重大风险实行挂牌督办制

度,对每一个风险点编制专项管控方案和应急处置预案,确定管控责任主体、管控措施和监测预警频次,实现风险差异化、精准化分级管控。

4.3 落实现场全维度动态管控机制

严格实行全员安全生产责任制,将安全责任层层分解到项目各个部门、各个班组、各个岗位和各个作业环节上,真正实现“一岗一责、岗责相符”。对海上起重吊装、水下作业、高空作业、多工序交叉作业等高风险作业环节实行作业票审批和闭环管理,落实班前安全技术交底、作业过程全过程旁站监理、作业后安全复盘的全流程闭环控制。依靠北斗定位系统、AIS船舶自动识别系统、现场视频监控系统、人员智能定位终端等信息化手段,创建起一体化海上作业安全管控平台,对施工船舶动态、人员作业状况、现场环境参数展开实时监测并发出智能预警,及时发现并纠正现场不安全行为,闭环管理各种安全隐患^[4]。同时将所有的分包单位都纳入到项目的统一安全管理体系中去,进行经常性的安全培训和考核,坚决杜绝违法分包、层层转包等违法行为的发生,使各项安全管控要求落实到作业的末端。

4.4 构建海上专属应急管理体系

创建起“岸基应急指挥中心+海上应急前置平台+周边专业救援力量联动”的三级应急管理体系,针对海上作业频发的事故情形,逐一制订船舶碰撞、人员落水、台风避险、设备倾覆、海洋生态污染等专项应急预案及现场处置方案,确定应急处置流程、责任分工、处置要点和保障措施。定期开展海上实景实战化应急演练,不断加强作业人员和应急救援队伍的现场处置能力,在施工海域常态化的前置应急救援船舶、急救物资、抢险设备和驻船医疗人员,与海事管理部门、专业海上救捞机构、周边港口单位建立常态化的应急联动机制,畅通应急救援绿色通道,最大限度地缩短应急响应时间,提高突发事件的应急处置效率^[5]。

4.5 改进管理闭环

按照PDCA循环管理思想来创建安全风险控制常态化

的复盘与优化体系。每一个关键施工节点结束之后,对风险管控效果、隐患闭环整改情况、突发事件处置过程进行全方位的复盘分析,从管控体系的短板和不足入手,及时更新风险数据库和管控清单,改进完善管控措施和应急预案。同时积极吸收行业内先进的安全管理经验和科技成果,不断更新完善风险管理体系,从而形成起一个完整的从风险识别、量化评价、分级控制、应急处置、复盘改进的闭环式风险管理机制。

5 结论

海上风电工程安全风险属于复杂系统的工程,其本质是根据海上场景的特殊性来适应,从而达到全流程闭环控制的目的。本文通过对风险特征的分析、对行业痛点的梳理,创建起包含风险前置管控、量化分级评价、现场动态掌控、海上特别应急和持续改进与管理闭环,为安全管理体系的完善提供理论与实践层面的参考。由于产业往深远海、大容量方向发展,浮式风电等新技术的使用为安全管理带来更高的要求。后续研究需聚焦深远海浮式风电风险特性及控制难点,借助数字孪生、人工智能、大数据这些新一代信息技术,创建起智能化、可视化、全时段的管控体系,不断提升安全管理的数字化水平,助力我国海上风电产业高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 国家能源局.风电发展“十五五”规划[R].北京:国家能源局,2025.
- [2] 交通运输部.海上风电工程海事安全管理办法[Z].2024.
- [3] 海上风电场工程施工安全技术规范:NB/T 10393-2020[S].奔流电子音像出版(北京)有限公司,2020.
- [4] 王玉玉,吕超,王鹏,等.海上风电项目安全风险防控[J].船舶工程,2025,47(S1):144-147.
- [5] 程建荣,谢素美,曹艳,等.中国海上风电发展现状及对策建议研究[J].科技导报,2025,43(03):115-128.