

# 海上风电施工安全管理分析

刘佳鑫

华电科工股份有限公司 广东 阳江 529823

**摘要:** 海上风电作为新能源发展的重要领域,其施工安全管理关乎产业可持续发展。施工过程面临复杂自然环境、设备设施故障、人员操作失误及作业流程隐患等多重风险,对安全管理提出严峻挑战。通过强化环境适应性技术应用、优化设备安全性能、提升人员作业能力、加强作业过程管控等策略,可系统降低安全风险,保障施工安全高效推进,为海上风电产业高质量发展筑牢安全基石。

**关键词:** 海上风电; 施工; 安全管理

## 引言

在全球能源转型与“双碳”目标驱动下,海上风电凭借资源丰富、环境友好等优势快速发展。然而,其施工环境恶劣、技术要求高、作业风险复杂,安全管理成为制约产业发展的关键因素。本文基于对海上风电施工安全管理的深入研究,系统分析施工过程中自然环境、设备设施、人员操作及作业过程存在的安全风险,并针对性提出管理策略,以期提升海上风电施工安全管理水平提供理论参考与实践指导。

## 1 海上风电施工安全管理概述

海上风电施工安全管理是保障海上风电项目顺利实施与人员设备安全的关键环节。海上风电施工环境复杂,远离陆地,面临气象海况多变、作业时间长、危险系数高、通信难度大等挑战,使得安全管理尤为重要。海上风电施工安全管理涵盖多个方面。在人员管理上,需确保所有施工人员在上岗前接受必要的安全培训,涵盖海上作业安全知识、个人防护装备使用、紧急情况处理、施工设备安全操作规程等内容,培训结束后进行考核,定期组织复训,以保持安全意识。建立出海人员动态管理台账,对出海作业各类人员进行分类动态管理,确保出海人员符合出海安全基本要求。设备管理方面,对施工设备进行定期检查与维护,确保设备处于良好状态。制定设备使用手册,保证设备操作人员经过专业培训,掌握设备操作要点。对于老旧设备,评估其安全性,并根据情况决定更新或报废。加强重点作业管理,如沉桩作业落实防溜桩工作措施,吊装作业明确吊装系数,海缆敷设作业落实警戒及防止走锚措施等。施工现场安全管理同样不容忽视。在施工现场设置明显的安全警示标志,确保施工区域围挡,防止无关人员进入。配备必要的安全设备,如救生圈、急救箱、消防器材等,并定期检查其有效性。应急管理也是海上风电施工安全

管理的重要组成部分。制定详细的应急预案,包括事故类别、应急组织架构、应急响应程序及职责分工,并经过演练检验其可行性,确保在紧急情况下所有人员能迅速、高效应对。通过全面、系统的安全管理措施,可有效降低海上风电施工事故发生风险,保障项目顺利进行。

## 2 海上风电施工安全风险分析

### 2.1 自然环境风险

海上风电施工区域的自然环境蕴含诸多不可控风险,对施工安全形成直接威胁。强风是影响海上风电施工的首要自然因素,持续强风会显著增加吊装作业难度,导致风力发电机组在起吊过程中产生剧烈晃动,不仅可能造成设备碰撞损坏,还可能引发吊装绳索断裂,致使设备坠落,危及下方人员和船舶安全。在极端强风条件下,施工船舶的稳定性受到严重影响,甚至可能出现走锚、倾覆等危险状况。海浪和海流的影响同样不容小觑,较大的波浪和复杂的海流会改变施工设备的受力状态,使沉桩作业难以精准定位,海缆敷设过程中,海流可能导致海缆移位,偏离设计路径,增加后续运行风险。复杂多变的气象条件,如暴雨、雷电等,会严重影响海上作业视线,干扰通信设备正常运行,导致作业人员与指挥中心之间信息传递不畅,增加操作失误概率。在恶劣天气下,海上救援行动也会受到极大限制,一旦发生安全事故,救援人员和设备难以迅速抵达现场,延误最佳救援时机,进一步扩大事故损失<sup>[1]</sup>。

### 2.2 设备设施风险

海上风电施工设备设施在长期运行过程中,面临着多种潜在风险。施工船舶作为海上作业的重要平台,其机械系统、动力系统和电气系统任何一个环节出现故障,都可能引发严重后果。船舶动力系统故障可能导致船舶失去动力,在复杂海况下难以操控,容易发生碰撞、搁浅等事故。电气系统故障可能引发火灾,海上环

境特殊,火势一旦蔓延,扑救难度极大。各类施工机械设备,如起重机、打桩设备等,长期处于高负荷运转状态,机械部件会逐渐磨损,若未能及时发现和处理,可能导致设备突然失灵。例如,起重机的制动系统磨损严重,在吊装作业时可能无法有效制动,致使重物坠落;打桩设备的液压系统出现泄漏,会影响打桩的精准度和效率,甚至可能引发设备损坏。海上风电设备的安装和运行对设备的防腐性能要求极高,长期处于海水腐蚀环境中,设备的金属结构会逐渐被腐蚀,降低设备强度和稳定性,增加设备倒塌、断裂等事故发生的可能性。设备设施的老化、损坏以及维护不当,都会给海上风电施工安全带来巨大隐患。

### 2.3 人员操作风险

人员操作是海上风电施工安全的关键环节,操作人员的行为直接影响施工安全。在海上风电施工中,部分操作人员由于缺乏足够的实践经验和专业技能,对复杂的施工设备和作业流程掌握不熟练,容易在操作过程中出现失误。例如,在进行吊装作业时,操作人员可能因对吊装重量估算不准确,选择了不合适的吊装绳索,导致绳索断裂引发事故;在沉桩作业中,对沉桩深度和角度的控制不当,会影响桩基的稳定性,为后续风机安装和运行埋下安全隐患。长时间在海上恶劣环境下作业,操作人员容易产生疲劳,注意力难以集中,判断力和反应速度下降,对突发情况不能及时做出正确判断和处理。部分操作人员还存在安全意识淡薄的问题,为了追求施工进度,违反操作规程进行冒险作业,如不按规定佩戴个人防护装备、在危险区域随意走动等,这些行为都极大地增加了安全事故发生的概率。即使经验丰富的操作人员,在面对一些特殊工况或突发状况时,也可能因缺乏应对经验而出现操作失误,导致事故发生<sup>[2]</sup>。

### 2.4 作业过程风险

海上风电施工包含多个复杂的作业过程,每个环节都存在不同程度的风险。在基础施工阶段,无论是重力式基础、单桩基础还是导管架基础的施工,都涉及大量水下作业。水下环境复杂,能见度低,水流情况不明,作业人员在水下进行基础安装和连接工作时,面临着诸多危险,如被水下障碍物缠绕、因水流冲击导致身体失控等。基础施工过程中,基础结构的稳定性在施工初期相对较弱,若在施工过程中受到风浪、海流等外力作用,可能发生基础倾斜、移位甚至倒塌事故。在风机安装作业过程中,高空作业风险突出,风机塔筒的安装需要作业人员在高空进行设备连接和调试工作,高处坠落风险极大。风机叶片尺寸巨大,在吊装和安装过程中,

由于其形状不规则,空气动力特性复杂,容易受到风力影响而产生晃动,增加安装难度和碰撞风险。海缆敷设作业过程中,海缆的牵引和铺设需要精确控制张力和速度,若控制不当,可能导致海缆断裂或损坏,影响电力传输,同时在海缆敷设过程中,还需要注意与其他海底设施的避让,避免相互干扰引发事故。各作业过程之间相互关联,一个环节出现问题,很可能影响到整个施工进度和安全。

## 3 海上风电施工安全管理策略

### 3.1 强化环境适应性技术应用

(1) 采用先进的气象海况监测与预测技术,构建高精度实时监测系统。通过在施工区域部署多源传感器,如气象浮标、波浪雷达、海流剖面仪等,实时采集风速、风向、浪高、海流速度与流向等数据,并结合数值天气预报模型,生成高分辨率的短期与中长期气象海况预测结果,为施工决策提供准确依据,避免在恶劣天气条件下开展高风险作业。(2) 应用智能避障与路径规划技术提升施工安全性。在施工船舶和设备上安装激光雷达、声呐等感知设备,实时探测周围环境障碍物,结合高精度地图数据,通过智能算法自动规划安全的航行与作业路径。对于海缆敷设作业,利用水下机器人搭载的探测设备提前勘察海底地形,避开礁石、沉船等障碍物,保障海缆敷设的顺利进行与施工安全。(3) 研发和应用适应复杂海况的施工装备与技术。针对强风环境下的吊装作业,采用主动抗风技术,通过在起重机上安装姿态调整系统,实时监测并补偿风力引起的晃动,确保吊装过程稳定。在沉桩作业中,运用自适应调平技术,依托高精度传感器实时感知海床地形与波浪动态,自动精准调整沉桩设备姿态,提高沉桩定位精度和施工效率,降低因海况复杂导致的施工风险。

### 3.2 优化设备设施安全性能

(1) 运用先进的材料和制造工艺提升设备耐久性。在海上风电设备的关键部件制造中,选用高强度、耐腐蚀的特种钢材,如双相不锈钢、超级合金钢等,结合先进的表面处理技术,如热喷涂陶瓷涂层、纳米复合涂层等,增强设备表面的抗腐蚀和耐磨性能,延长设备使用寿命,降低因设备腐蚀、磨损引发的安全事故概率。(2) 构建设备全生命周期健康管理系统。在施工设备和海上风电设施上安装各类传感器,实时监测设备的振动、温度、应力、磨损等关键参数,通过大数据分析和机器学习算法,对设备的运行状态进行评估和故障预测。一旦发现设备存在潜在故障,系统及时发出预警,并提供针对性的维护建议,实现设备的预防性维护,保

障设备持续稳定运行。(3)开展设备安全性能升级改造。对老旧施工船舶和设备进行系统性评估,针对其存在的安全隐患和性能短板,进行技术改造和升级。例如,对船舶的动力系统进行优化,提高其在恶劣海况下的可靠性;为起重机加装智能防碰撞系统和过载保护装置,提升吊装作业的安全性;对海缆敷设设备的张力控制系统进行升级,实现更精准的张力调节,避免海缆因张力异常而损坏<sup>[3]</sup>。

### 3.3 提升人员安全作业能力

(1)通过虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术开展沉浸式培训。利用VR技术模拟海上风电施工的各种复杂场景,包括恶劣天气下的吊装作业、水下基础施工等,让作业人员在虚拟环境中亲身体验各类风险情境,学习正确的操作方法和应急处理措施。AR技术则可在实际作业现场为操作人员提供实时的操作指导和安全提示,将虚拟信息与现实场景相结合,帮助操作人员快速掌握复杂设备的操作要点,提高作业技能和应对突发情况的能力。(2)建立人员技能评估与动态管理机制。定期对施工人员进行技能考核,考核内容涵盖设备操作、安全知识、应急处理等多个方面,根据考核结果对人员进行技能等级评定,并制定个性化的培训提升计划。建立人员作业档案,记录其作业表现、安全事故经历等信息,对技能水平不达标或安全意识薄弱的人员进行重点关注和强化培训,确保所有作业人员具备相应的安全作业能力。(3)加强团队协作与沟通能力培养。组织施工人员进行团队协作训练,通过模拟实际施工场景中的团队作业任务,培养团队成员之间的默契和协作能力。在施工过程中,利用先进的通信技术,如卫星通信、自组网通信等,确保作业人员之间、作业人员与指挥中心之间的实时高效沟通,及时传递作业信息和安全指令,避免因沟通不畅导致的操作失误和安全事故。

### 3.4 加强作业过程安全管控

(1)引入数字化施工管理平台实现全过程监控。利用物联网、云计算等技术,搭建数字化施工管理平台,将施工过程中的人员、设备、作业进度等信息进行实时采集和整合。通过平台的可视化界面,管理人员可远程

监控施工现场的作业情况,及时发现并处理安全隐患。平台可对作业过程进行数据分析,为优化施工方案和安全管理措施提供依据。(2)实施标准化作业流程与风险预控。针对海上风电施工的各个作业环节,制定详细、统一的标准化作业流程,明确每个作业步骤的操作规范和安全要求。在作业前,组织作业人员进行风险预控分析,识别作业过程中可能存在的风险因素,并制定相应的防范措施。在作业过程中,严格按照标准化流程操作,确保各项安全措施落实到位,降低作业过程中的安全风险。(3)开展多维度的安全检查与隐患排查。建立定期检查与不定期抽查相结合的安全检查制度,对施工现场的设备运行状况、人员操作行为、安全设施配备等进行全面检查。鼓励作业人员开展自查自纠,及时发现并上报身边的安全隐患。对检查和排查出的安全隐患,建立隐患台账,明确整改责任人、整改期限和整改措施,跟踪整改情况,确保隐患得到及时消除,保障作业过程安全有序进行<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,海上风电施工安全管理是一项系统性、综合性工程,涉及自然环境、设备设施、人员操作等多方面因素。通过全面识别安全风险,采取强化环境适应性技术应用、优化设备设施安全性能、提升人员安全作业能力、加强作业过程安全管控等有效策略,可显著降低施工风险,保障作业安全。未来,随着技术创新与管理体系完善,海上风电施工安全管理将不断迈向新高度,为清洁能源产业稳健发展提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]李智福.海上风电施工安全管理分析[J].内蒙古科技与经济,2022(12):31-32.
- [2]朱斌,于嘉,吉伟.海上风电施工安全管理分析[J].中国科技投资,2024(1):149-151.
- [3]李寿清,李广锋.浅谈海上风电施工安全管理[J].红水河,2023,42(5):71-76.
- [4]曹君.海上风电施工安全管理分析[J].空中美语,2021(11):1303-1304.