

海上风电基建期吊装安全管控

李 勇

广东华电福新阳江海上风电有限公司 广东 阳江 529500

摘 要：当前我国海上风电产业正处于快速发展阶段，大型化风机设备的广泛应用对吊装安全提出了更高要求。海洋环境的复杂多变性、作业技术的专业性强、参建单位众多协调难度大等问题成为制约安全管理水平提升的主要瓶颈。通过构建完善的安全管理体系、强化技术支撑能力、优化应急保障机制等策略举措，能够有效应对现有挑战并显著提升整体安全管控效能。建立健全长效安全管控机制对于保障从业人员生命安全、确保项目投资效益、推动产业高质量发展具有重要现实意义。

关键词：海上风电；基建期；吊装现场；安全管控

海上风电基础设施建设阶段的核心环节是大型风机设备的海上吊装作业，这一过程涉及重型设备运输、精密定位安装、高空临边作业等多项高风险作业内容。海洋环境具有不可预测性，风浪流等自然因素的变化直接影响吊装作业的安全性和效率。随着风机单机容量不断增大，叶轮直径持续增加，对吊装技术和安全管理提出了新的更高要求。深入分析海上风电基建期吊装现场安全管控面临的现状问题，准确识别关键挑战因素，制定针对性解决策略，对于促进行业健康可持续发展具有重要的理论价值和实践指导意义。

1 海上风电吊装安全管控现状分析

1.1 行业发展规模现状

我国海上风电产业经过十余年的发展已经形成了较为完整的产业链条和产业体系。截至最新统计数据显示，全国海上风电累计并网装机容量已突破三千万千瓦，年新增装机容量保持高位增长态势。沿海各省市区根据自身资源禀赋条件制定了差异化的海上风电发展规划，形成了以江苏、广东、山东、福建等省份为核心的产业集聚区。大型国有电力企业和民营新能源企业积极参与海上风电开发建设，市场竞争日趋激烈。随着平价上网政策的逐步实施，行业对成本控制和效率的要求不断提高，这对吊装作业的安全管理水平提出了更高标准。

1.2 安全管理体系现状

目前海上风电基建期吊装作业普遍建立了基本的安全生产管理制度框架和组织保障体系。多数项目建设单位设立了专门的安全管理部门，配备了专职安全管理人员，制定了涵盖各个作业环节的安全操作规程。施工单位建立了以项目经理为第一责任人的安全生产责任制，明确了各级管理人员和作业人员的安全职责。监理单位履行

安全监督职能，对施工过程进行全过程安全监控^[1]。然而现有的安全管理体系在标准化程度、执行力强度、信息化水平等方面仍存在较大提升空间，部分项目的实际执行效果与理想状态相比还有一定差距。

1.3 技术装备应用现状

海上风电吊装作业的技术装备水平总体呈现快速提升趋势，专业化程度不断提高。大型起重船、自升式平台、半潜式驳船等专业吊装设备的应用范围不断扩大，起重能力从最初的几百吨提升到现在的数千吨级别。GPS定位系统、激光测距仪、风速测量仪等先进测量仪器在吊装作业中得到广泛应用，提高了作业精度和安全性。数字化施工管理系统逐步推广，实现了作业过程的部分可视化监控。但是高端装备的国产化率仍然偏低，关键技术依赖进口的现象依然存在，装备运维成本较高。

1.4 人员队伍建设现状

海上风电吊装作业对从业人员的专业素质要求极高，需要掌握海洋工程、起重机械、电气控制等多学科知识。行业内已经培养了一批具备丰富实践经验的技术人员和熟练操作工人。高等院校和职业培训机构开设了相关的专业课程和培训项目，为行业发展提供了人才支撑。行业协会和企业定期组织专业技能培训和安全教育活动，不断提升从业人员的能力水平^[2]。由于行业发展速度快于人才培养速度，高水平专业技术人才和经验丰富的操作工人仍然存在较大缺口。

2 海上风电吊装安全管控面临挑战

2.1 海洋环境复杂多变挑战

海上风电吊装作业面临海洋环境复杂多变带来的巨大安全风险和不确定性因素。海况条件包括风速、浪高、潮汐、海流等多个变量，这些因素相互影响且变化频繁，给吊装作业带来极大困难。恶劣天气如台风、暴

雨、大雾等极端气象事件的发生具有突发性和破坏性特征,可能导致重大安全事故。海水腐蚀性强,对吊装设备和钢结构造成持续损害,增加了设备故障风险。海洋生物附着会影响设备性能,海底地形复杂给船舶锚泊和定位带来挑战。这些环境因素的综合作用使得海上吊装作业的风险远高于陆地同类作业。

2.2 大型设备吊装技术挑战

现代海上风电机组朝着大型化、轻量化方向发展,对吊装技术提出了更高更严的要求。超长叶片长度可达百米以上,重量数十吨,空中姿态控制极其困难。机舱和发电机组重量巨大,重心位置复杂,需要精确计算吊点布置和载荷分配。塔筒分段越来越多,对接精度要求越来越高,海上恶劣条件下的精密安装难度极大。多机协同作业时各设备间的协调配合要求极高,任何一个环节出现问题都可能影响整体进度和安全。新型浮式风电技术的应用更是对传统吊装理念和方法提出了革命性挑战。

2.3 多方协调管理挑战

海上风电基建期吊装作业涉及业主、设计、施工、监理、设备制造、海事监管等多个利益相关方,协调管理难度极大。各单位间职责边界有时不够清晰,容易出现推诿扯皮现象。不同单位的企业文化和管理理念存在差异,统一标准难以建立。信息传递链条长,沟通效率低,决策响应速度慢^[3]。合同关系复杂,经济利益纠葛较多,影响安全管理措施的有效执行。跨区域、跨行业的协调机制尚不完善,缺乏统一的协调平台和有效的激励约束机制。

2.4 应急救援能力挑战

海上风电吊装现场距离陆地较远,应急救援面临时间长、难度大的现实困境。海上搜救力量相对有限,专业救援设备不足,救援人员技术水平参差不齐。恶劣海况条件下救援行动本身就充满危险,可能造成二次事故。医疗救护资源匮乏,重伤人员转运时间长,救治效果难以保证。应急物资储备不足,种类不全,更新不及时。应急预案针对性不强,演练频次不够,实战效果不佳。与地方政府和专业救援机构的联动机制有待完善,资源共享程度不高。

3 海上风电吊装安全管控应对策略

3.1 构建智能化环境监测预警体系

针对海洋环境复杂多变、影响因素众多的特点,亟需构建一套集实时监测、智能分析、精准预警于一体的现代化环境监测预警体系。该体系应以先进传感技术为核心,部署包括风速风向仪、波浪高度计、潮位监测

站、海流剖面仪、温盐深探测器等在内的多元化监测设备集群,形成覆盖海域关键节点的立体化感知网络。通过物联网技术架构,建立稳定可靠的数据传输通道,实现监测数据的自动化采集、远程传输和云端存储,确保信息流转的实时性和完整性。在数据处理层面,充分运用大数据分析技术,对海量历史气象资料、海洋水文数据进行深度挖掘和模式识别,结合机器学习算法构建预测模型,显著提升恶劣天气和海洋灾害的预报精度与提前量。人工智能技术的应用将进一步增强系统的自适应能力和决策支持水平,通过对多源异构数据的融合分析,实现对台风、暴雨、海啸等极端事件的早期识别和趋势研判。基于风险评估结果,建立科学合理的多级预警响应机制,按照一般风险、较大风险、重大风险等不同等级,制定差异化的防范措施和人员撤离方案,确保应急响应的针对性和有效性。同步开发功能完善的移动终端应用系统,通过短信推送、APP通知等多种形式,确保一线作业人员能够在最短时间内获取预警信息并采取相应防护行动^[4]。积极拓展与国家海洋环境预报中心、地方气象局等权威机构的战略合作渠道,建立信息资源共享机制,整合优质预报资源,构建覆盖更广、精度更高的综合预警服务平台。

3.2 推进专业化吊装技术创新升级

面对日益增长的大型海洋工程项目建设需求,专业化吊装技术的创新发展已成为提升工程建设效率和安全保障水平的关键所在。必须持续加大科技研发投入强度,聚焦超大型构件海上精准吊装这一核心技术难题,在起重机械载荷计算、动态稳定性分析、精密定位控制系统等领域实现重大技术突破。针对复杂海况条件下多台起重机协同作业的技术挑战,着力研发智能化群控系统,通过先进的传感检测技术和实时反馈控制算法,实现多机间的精确同步和协调配合。在浮式平台稳定定位方面,重点攻克波浪补偿、动态张紧、锚泊系统优化等关键技术瓶颈,确保大型构件在吊装过程中的平稳性和安全性。积极推广建筑信息模型(BIM)技术在吊装工程中的深度应用,通过三维数字化建模和虚拟仿真技术,对吊装方案进行全过程模拟验证,提前识别潜在风险点并优化施工工艺流程。密切关注国际先进技术发展趋势,有针对性地引进国外先进的设计理念、制造工艺和核心零部件,通过消化吸收再创新的方式,全面提升国产吊装装备的整体技术水平和市场竞争优势。构建产学研用深度融合的技术创新体系,搭建高校科研院所与装备制造企业间的合作平台,围绕行业共性关键技术开展联合攻关,加速科技成果的产业化转化进程。从标准

规范建设入手,制定和完善专业化吊装技术的相关行业标准和企业规范,明确技术性能指标、安全操作规程和质量验收标准,为行业健康发展提供技术支撑和制度保障,引领整个吊装行业向着更高水平的技术发展阶段稳步迈进。

3.3 建立一体化协同管理平台

鉴于项目涉及多个参与主体且彼此之间存在密切联系,有必要构建一个功能完备、运行高效的综合性协同管理系统来统筹全局工作进度安排。依托云计算架构搭建开放式网络服务平台,融合区块链分布式账本特性保证重要交易记录不可篡改可追溯,以此为基础支撑跨部门间的数据交换共享活动顺利进行。平台内部应当细化各单位职能边界范围,确立清晰的责任分工链条,并配套设置公平公正的绩效考核评价办法以及相应的奖惩兑现规则^[5]。还要注重强化标准化体系建设力度,包括但不限于工程技术标准、安全生产规程、产品质量检验准则及客户服务承诺等内容均需做到全国范围内统一执行。定期召开安委会议或专题研讨会等形式加强沟通交流频次,妥善化解可能出现的利益冲突矛盾点。严格执行合同条款约定事项,不断完善争议调解仲裁程序设计,努力营造公开透明、互利共赢的合作生态环境。

3.4 完善立体化应急保障机制

面对突发公共事件可能带来的巨大损失,必须建立起涵盖预防准备、监测预警、应急处置及恢复重建四大阶段在内的全方位安全保障网络。首先应在现有基础上组建一支训练有素的专业化海上搜救力量,为其配备高性能船舶、直升机及其他特种救援器材,通过周期性的理论学习加实操演练不断提升实战能力水平^[6]。其次要科学规划各级仓库布局结构,依据区域特点和灾情概率分布情况合理储备足量的食品饮料、医疗药品、防护用品等紧急物资,并保持库存状态处于动态调整之中。再次则是编制详尽周密的突发事件应急预案文本,结合不同性质事故类型特点设定具体可行的操作指南,并经常性组织开展桌面推

演测试和实地拉动检验相结合的方式加以验证效果。最后还应主动对接属地政府职能部门及相关社会组织机构,构建上下贯通左右联动的快速响应指挥调度中枢,形成职责分明密切配合的工作合力。与此同时,深入开展宣传教育普及活动,增强全员忧患意识和社会责任感,切实筑牢人民群众生命财产安全防线。

结语

海上风电基建期吊装现场安全管控是一项复杂而艰巨的系统工程,需要政府监管部门、行业组织、从业企业等各方面共同努力。通过对当前行业发展现状的深入分析可以看出,虽然我国海上风电吊装安全管理水平有了显著提升,但仍面临海洋环境复杂多变、大型设备吊装技术要求高、多方协调管理难度大、应急救援能力不足等诸多挑战。针对这些挑战提出的智能化环境监测预警、专业化技术创新升级、一体化协同管理平台建设、立体化应急保障机制完善等应对策略,为提升海上风电吊装安全管控水平指明了方向和路径。未来随着新技术新装备的不断涌现和管理理念的持续创新,海上风电吊装安全管控必将迈上新的台阶,为我国能源结构优化和碳达峰碳中和目标实现作出更大贡献。

参考文献

- [1]徐朝刚,陈庆斌,陈威.海上风电大型导管架吊装布置研究[J].船海工程,2025,54(1):122-127.
- [2]陈建均.海上风电升压站导管架吊装气囊助浮工艺研究[J].水道港口,2025,46(2):268-274.
- [3]郭伴.大容量海上风电机组单叶片快速吊装技术研究[J].中国新技术新产品,2025(5):103-105.
- [4]陈志勇.坐底船在浅水作业区海上风电大部件吊装中的应用[J].现代制造技术与装备,2025,61(6):148-150.
- [5]陈熙,刘昕冲,刘金良.海上风电机组吊装防干涉施工工艺研究[J].电工技术,2025(1):93-95.
- [6]中国中车“启航号”20 MW漂浮式海上风电机组成功吊装[J].南方能源建设,2025,12(01):90.