

极端天气下海上风电安全防控策略与实践研究

吴晓鹏

上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335

DOI:10.61369/EPTSM.2026040011

摘 要： 在“双碳”目标背景下，海上风电产业迅速发展的同时也面临着恶劣的自然条件，在台风、风暴潮、海冰以及强雷暴等极端天气频发的情况下对海上风电设备运行、运维工作开展及安全生产构成重大威胁，是影响海上风电产业持续健康发展的主要障碍。本文基于海上风电真实运行情况，避免空泛论述与大量罗列数据的方式，从具体角度出发阐述了极端天气给海上风电设施设备、工作人员乃至整个系统所带来的危害，并提出了切实有效的安全防范措施，在此基础上通过实例说明如何实施这些措施并针对目前存在的实际问题进行改进建议，以期能够帮助海上风电工程更好地应对各种突发状况从而保证其平稳有序地推进。

关 键 词： 极端天气；海上风电；安全防控；运维实践；设备防护

Research on Safety Prevention and Control Strategies and Practices for Offshore Wind Power under Extreme Weather Conditions

Wu Xiaopeng

Shanghai Survey and Design Institute Co., Ltd. Shanghai 200335

Abstract： In the context of the "dual carbon" target, the rapid development of the offshore wind power industry is also facing harsh natural conditions. The frequent occurrence of extreme weather such as typhoons, storm surges, sea ice, and severe thunderstorms poses a significant threat to the operation, maintenance, and safe production of offshore wind power equipment, and is the main obstacle to the sustainable and healthy development of the offshore wind power industry. This article is based on the actual operation of offshore wind power, avoiding vague discussions and extensive data listing. It elaborates on the hazards that extreme weather brings to offshore wind power facilities, equipment, personnel, and even the entire system from a specific perspective, and proposes practical and effective safety measures. On this basis, examples are used to illustrate how to implement these measures and provide improvement suggestions for the current practical problems, in order to help offshore wind power projects better cope with various emergencies and ensure their smooth and orderly progress.

Keywords： extreme weather; offshore wind power; safety prevention and control; operational practice; equipment protection

引言

风力发电是目前在技术和经济上最具有开发价值的能源利用方式之一，发展风电可以减少常规能源消耗带来的环境污染和生态破坏。海上风电是清洁能源的一种，由于其风能资源丰富以及不需要占用陆地空间的优势，在我国能源结构转型中起着重要作用。但是由于大部分海上风电场位于近岸或者远海地区，受到海洋环境的影响较大，经常发生一些恶劣天气，而且这些恶劣天气往往会给风机叶片、海底电缆、基础等造成损害，影响到发电量的同时也会给工作人员带来生命危险，从而导致事故的发生^[1]。因此有必要对极端天气条件下如何做好海上风电的安全防护工作进行探讨并提出切实可行的办法来保证海上风电项目的正常运行及促进产业的发展进步。

一、极端天气对海上风电的主要影响

（一）对海上风电设备的直接损坏

海上风电设备长期处于高盐、高湿的海洋环境下，本身就存

在老化、腐蚀问题，在此基础上再加上恶劣天气的影响，就会更加容易造成设备损坏。台风、大风等恶劣天气是主要危害因素，大风会对风机叶片产生冲击作用，使叶片出现裂纹或者断裂现象，甚至会导致风机机舱位移以及塔筒倾斜的情况发生，最坏的

情况下还会导致整个风机报废；同时由于大风吹起的大浪也会对风机底部的基础造成冲击，使得基础结构受到破坏而下沉或是开裂，从而影响到风机的安全性^[2]。风暴潮、海冰等极端海洋气象条件也会给设备带来巨大损害，风暴潮会使海水上涨，淹没海上升压站、运维平台，使设备受潮短路，影响其正常工作；海冰会对风机的基础及水下海缆造成撞击，使基础受损或海缆断裂，而海缆对于海上风电来说就是一条“生命线”，如果被破坏，则会导致整个风电场停止运转并且水下抢修难度非常大。另外，雷暴天气还会引起雷击事故，对风机控制柜、电气元件造成损伤，进而引发设备异常停机等问题，影响发电稳定性。

（二）对运维作业的安全威胁

海上风电运维工作本身就有远离海岸、高空作业以及水下作业等特点，在恶劣天气条件下，会给运维工作的安全带来更大的威胁甚至使运维工作无法进行下去。在大风情况下，海面波涛汹涌，运维船不能正常行驶，不能把运维人员送到工作地点，如果运维人员正在海上工作，则有船只翻覆或者落水的风险；而在大雨或者大雾的情况下，视线受阻，给运维人员的操作带来困难，容易造成高空或水下的错误操作而发生事故^[3]。而且在恶劣天气之后，维修工作量会大大增加，设备损坏严重并且海上条件仍然很差，维修过程中要面对设备故障的同时还要克服恶劣的自然环境所带来的影响，这不仅降低了抢修的速度还会产生二次伤害的问题。此外，恶劣天气也会导致交通瘫痪、通信中断，使得现场工作人员与陆地上的调度室失去联系，得不到帮助和支持，从而加大了危险程度。

（三）对整体发电系统的间接影响

极端天气会对海上风电设备造成直接损害以及对运维人员的安全构成威胁，也会给整个海上风电场的发电系统带来一定的负面影响，从而引起停机、断电等问题。一旦发生设备损坏并且不能及时抢修的话，则会导致部分或者全部风电机组停止工作进而减少发电量；即便设备本身并没有受到损伤，但是由于极端天气的存在也会使风机处于自我保护状态而停止运转，从而造成停电现象的发生。此外，极端天气还会给电网接入带来不利影响，因为海上风电场所产生的电力必须经过海底电缆输送至陆地上的电网之中，在极端天气条件下如果出现海底电缆受损或者是相关设备出现问题的情况下，就会导致输电受到影响甚至引发电网波动，进而影响到周围的用电需求^[4]。而且在极端天气之后，对于设备进行抢修以及系统的重新启动都需要一定的时间，在这段时间内，风电场是不能够进行正常的发电工作的，这将会给企业带来经济损失的同时也会使得清洁能源供应出现不稳定的情况。

二、极端天气下海上风电安全防控核心策略

（一）前期预防：立足源头，强化防控基础

从设备的设计来看，根据项目的所在海域恶劣天气的特点，改进设备的设计以提高其抵御恶劣天气的能力，在台风、大风频发地区使用抗风能力强的风机叶片以及塔筒，并对叶片的角度进行优化设计从而降低大风对于叶片造成的冲击力；在风暴潮、海

冰较多的地方加强风机的基础防护措施，增大基础尺寸，选用防腐蚀、抗撞击性强的材料来增强基础稳定性；在雷暴频繁发生的地区完善防雷接地系统，在风机、升压站等重要设备上加装防雷设施以防雷击造成设备损坏^[5]。此外还需要考虑到设备的后期维护方便性以便于极端天气过后能够迅速抢修和检修。在选址规划时应避开极端天气高发并且危害严重的地区，在项目前期做好充分调研工作了解所建风电场周边海域气候状况特别是台风、风暴潮、海冰等情况出现频率及影响范围，优先考虑选择受极端天气影响较小且地层稳定的区域建设风电场。如果不可避免要在极端天气常发区建设则需要提前做好相应的防范预案，合理规划风电场布局，科学安排风机、升压站、运维平台的位置尽可能减少极端天气带来的联合作用效果。日常维护方面也要有固定的巡检制度定期对海上风电设施进行巡视保养及时发现并消除隐患防止其在极端条件下被放大化。重点检查风机叶片、塔筒、基础、海缆等主要部件，及时清除叶片表面附着物，修补叶片细微裂纹，加固塔筒与基础之间的连接点，检测海缆绝缘性能防止老化、断裂等问题发生的同时还要注意经常性的对防雷、防风、防水等相关防护装置进行检查保证它们处于良好状态从而更好地迎接各种恶劣天气的到来。

（二）中期管控：精准应对，降低实时风险

构建精确有效的极端天气监测预警系统，利用海上气象观测仪器以及岸边气象预报信息，对海域内的风速、风向、海浪、水位等气象水文要素进行实时监控，第一时间掌握极端天气出现征兆，及时发出警报通知相关人员做好防范工作。报警内容要具体说明所面临极端天气种类、影响范围、持续时间及危害程度，还要规定不同岗位人员的具体任务和操作程序，使工作人员能迅速行动起来。在极端天气到来之前，立即实施紧急处置方案，在海上停止一切检修作业，把所有检修人员转移到安全地带，禁止任何人留在船上；调整风机角度，让风机叶片处于顺风方向，开启风机防护模式，以防大风吹坏叶片；加固海上升压站、运维平台等设施，关好门窗，切断非必要电源，以免设备受潮漏电；妥善停泊运维船艇，做好防风、防浪措施，防止船只受损。极端天气发生时，加强巡视检查，有专人轮流值班，注意观察设备运行状况和天气变化情况，一旦发现设备出现问题，不能贸然抢修，要在极端天气结束后，确定环境安全之后再再进行维修工作；同时，与岸上指挥中心、气象局保持紧密沟通，随时了解最新的天气预报和救援力量，保证工作的顺利进行。

（三）后期处置：快速抢修，恢复正常运营

极端天气之后，第一时间安排运维人员进行检查，主要检查风机、基础、海缆、升压站等重要设施是否受损，确定损坏的位置及严重程度，建立隐患排查记录表，根据不同的情况进行抢修计划，优先抢修影响大、危害大的设备故障，保证抢修工作的有条不紊。抢修时要采取必要的安全防护措施防止工作人员在抢修过程中受伤，合理安排抢修所需的工具以及材料提高抢修速度。根据不同类型的设备故障分别采用相应的抢修方法：对风机叶片破裂或者断裂的情况及时更换叶片或对其进行修复并调整风机的角度使风机可以正常运转；对基础下沉、开裂的情况及时进行加

固、修补以增强基础的稳固性；对于海底电缆断开的情况派遣潜水员下水维修，替换掉破损的海底电缆以恢复电力输送；对于电气设备出现的问题迅速查明原因，修理或是替换该设备使其恢复正常工作状态。抢修完毕后，对所有设备做一次全面的检查调试，确保设备运行良好无任何隐患之后再依次启动风电场的发电生产，在此基础上还应总结此次极端天气防御和抢修的经验教训，反思防御工作中存在的问题，改进防御手段与应急预案，健全设备保养制度，提高以后抵御极端天气的能力。

三、极端天气下海上风电安全防控实践案例

该项目在前期预防方面，根据所在海域台风、风暴潮特性，改进设备设计，使用抗台风风机，加强风机基础防护能力，采用耐腐蚀、抗撞击材料，同时做好防雷接地工作；在选址规划时，避开台风登陆主要区域，合理布置风电场，科学设置风机及升压站位置；日常维护上，建立定期巡检制度，每周对风机、海缆、基础等设施进行巡查，及时发现隐患并处理，每月对防护设施进行全面检查，保证其良好状态。在极端天气中期管理期间，该项目有较为健全的监测预警系统，能够实时监控气象水文信息，在台风或风暴潮来临之前获得相关预报，及时通知相关人员，暂停海上作业，将所有工作人员转移到陆地安全地带，对风机进行调整，开启保护程序，加固升压站和运维平台，妥善停泊运维船艇。在台风、风暴潮来袭之时，安排专人全天候值班，严密注视着设备运转状况，一旦出现故障立即采取相应措施，确保各项措施执行到位。极端天气之后，该项目迅速派遣维修人员进行全面检修，尽快查明受损情况，分门别类地拟定抢修计划，调配抢修工具与物资，优先抢修海底电缆以及重要风机设备，在保障安全的基础上，尽可能缩短抢修时间，仅用较少的时间就完成全部设备抢修调试工作，使风电场恢复正常发电。此外，该项目还总结此次防控及抢修的经验教训，进一步优化防控措施和完善应急预案，增强日常保养力度，提高以后抵御恶劣天气水平。

四、防控工作中存在的问题及优化建议

（一）存在的主要问题

针对实际情况，在当前极端天气条件下海上风电的安全防护工作中还存在一些操作上的问题，主要有以下几点：第一是部分

项目的安全防护措施针对性不够强，不对所在海域特有的极端天气进行分析而采用一般性的防护方法，生搬硬套通用模板，造成防护效果差；第二是运维人员的安全防护技能以及应急处理能力有待加强，一部分运维人员缺少对极端天气的实际操作经验，在发生突发事件时不能迅速准确地作出反应；第三是安全防护物资短缺，一部分项目没有考虑到极端天气带来的影响大小，采购相应的抢修工具及物资储备不足，在极端天气过后抢修工作难以开展，延误恢复时间。

（二）优化建议

为了解决以上问题，在满足海上风电运行实际的基础上，提出如下接地气、可操作性的改进措施：第一，制定个性化防控预案，各个海上风电场站根据各自所在海域特有的恶劣气候特征，确定恶劣天气种类及影响范围等，有针对性地制定相应的防范对策以及应急预案，不能照抄通用模板，要做到有的放矢；第二，强化运维人员培训力度，对运维班组开展定期的恶劣天气防护和应急处理培训，通过典型案例进行现场模拟演练等方式提高运维人员防护能力和应急能力，做到有备无患；第三，做好物资储备工作，依据各项目所在地所受恶劣天气的影响程度来配备充足的抢修工具、防护用品和应急物资，并对其进行周期性检验与更换，保证恶劣天气之后能迅速展开抢修作业，尽快使设备恢复正常运转。

五、结论

极端天气是影响海上风电安全运行的重要因素之一，在一定程度上会对设备运行、运维作业以及发电稳定性造成不利影响，进而阻碍海上风电行业的发展。在发生极端天气的情况下，对于海上风电的安全防护要以“以防为主、防患未然、切实有效”为指导思想，在事前防范、事中控制、事后处理三个方面着手，根据项目的海域特点有针对性地提出具体可行的措施来做好设备保护、及时准确监测预报和迅速妥善处置等工作的同时不断积累经验教训完善改进相关工作方法提高工作效率。本文通过对极端天气给海上风电带来的主要危害进行阐述并提出相应的对策建议，并通过实例证明了这些措施的有效性和实用性，针对目前防控工作中存在的不足之处提出了改进建议，旨在帮助海上风电项目更好地应对极端天气，确保其平稳有序地开展生产经营活动。

参考文献

- [1]王玉玉,吕超,王鹏,曾杰,孙琪.海上风电项目安全风险防控[J].船舶工程,2025,47(S1):144-147.
- [2]张惠强.海上风电安全管理要点及风险防控措施探讨[J].水上安全,2025,(09):28-30.
- [3]周云鹏,蔡昊然.基于智能化技术的漂浮式海上风电机组安全风险防控研究[J].珠江水运,2025,(01):151-153.
- [4]郎作友.海南海上风电场建设的安全风险与防控[J].中国海事,2024,(10):42-45.
- [5]林超峰.海上风电工程建设风险分析与防控[J].福建水力发电,2022,(02):85-88.