

# 我国南北方海上风电建设期防台技术差异与优化对策研究

刘文锦

上海勘测设计研究院有限公司 上海 200050

**摘要:**我国海上风电建设快速发展,南北方海域因台风环境与海洋地质差异,建设期防台技术存在显著不同。南方台风频发强度大,防台需强化设备防护与精准预警;北方台风影响弱,以复合灾害为主,防台侧重适度保护。本文通过对比南北方海上风电建设期防台技术差异,剖析典型案例,总结共性问题,提出从技术改进、搭建全流程防台体系、加强智能化防台能力三方面优化防台策略,以提升海上风电建设期防台水平,保障施工安全与项目顺利推进。

**关键词:**海上风电;建设期;防台技术;南北差异;施工安全;应急管控

引言:我国海上风电迎来规模化建设高潮,预计到2025年重点项目装机容量约46.7GW,形成南方领跑、北方跟进的格局。南方海域台风频发,路径多变、预测难,给建设期防台带来巨大挑战;北方海域受台风影响频次低、强度弱,以复合灾害为主。海上风电建设期环节多、装备大,抵御台风能力弱,近期台风致建设期安全事故频发,凸显建立防台体系的重要性。当前防台多参考南方经验,存在诸多问题,对比南北方防台差异并给出策略具有重要价值。

## 1 南北方海上风电建设期台风环境特征对比

我国海上风电建设期间防台措施存在核心差异,是因南北方海域的台风环境和海洋地质状况明显不同,这直接影响着修建期间防台的核心要点和技术路线选择。

### 1.1 台风频次与强度差异

南方海域是台风主要登陆区,如广东2020-2025年平均每年有7.2个产生严重影响的热带气旋登陆,2025年台风“加沙”风力超过IEC标准上限。南海土台风路径和强度多变、登陆时间短,防台困难;台风常出现在5至11月,易造成损失<sup>[1]</sup>。北方海域受台风影响频次低,如2020-2025年山东半岛登陆台风数为0,年均受影响小于等于2次,多为变性减弱后的台风,以寒潮大风和温带气旋为主,台风作用时平均风力27.4m/s,对施工设备冲击小、影响时间短,对施工进度影响有限。

### 1.2 海洋与地质环境差异

南方海域水深普遍在20至50米之间,海床地形复杂多样,波浪周期较长、水流速度较大,台风过境时易引发风暴潮,实测波高最高可达8.7米,对施工船舶及临时作业平台的安全构成严重威胁;同时,高盐雾、高湿度环境会加速施工设备的腐蚀进程,增加设备维护成本与安全隐患。北方海域水深普遍不超过30米,海床地形平坦、多为泥沙质,波浪周期较短、水流速度较小,风暴

潮增水幅度不超过2米,巨浪对施工的影响相对温和。

## 1.3 建设期防台核心难点差异

南方海域防台工作的核心难点集中在超强台风引发的巨浪与风暴潮叠加作用,需重点防范施工船舶走锚、倾覆等风险,同时兼顾防台安全与施工进度的协调推进,避免因过度防台导致工期延误。北方海域防台工作的核心难点则在于弱台风与寒潮大风、温带风暴潮的叠加影响,需重点防范施工设备轻度损毁,同时关注台风过后低温结冰对施工的二次影响,以及台风来袭时施工人员的快速撤离问题。

## 2 南北方海上风电建设期防台技术措施对比

综合南北方台风环境的不同,海上风电建设期间的防台技术手段以基础施工、机组吊装、海缆敷设这三个主要环节为中心展开,针对施工装备、临时设施、人员管控制定有差异的方案,同时考虑规范要求和工程实际情况<sup>[2]</sup>。基础建造是主要部分,包括沉桩、灌浆等操作,防台要点是确保施工船只、打桩装置与临时基础的稳固性。

### 2.1 施工船只防台对比

南方海域施工船舶选用标准严格,需具备 $\geq 12$ 级抗台风能力,打桩船、起重船等核心装备均配备冗余锚泊系统,锚链直径不小于87mm,锚泊深度根据台风强度动态调节;台风预警发布后,施工船舶需及时转移至指定防台锚地,优化锚系限位设置,并安排拖轮随时待命,应对突发情况。北方海域施工船舶按规范选用 $\geq 10$ 级抗台风能力的装备,配备常规锚泊体系即可满足防台需求;台风威胁发布前,施工船舶转移至近岸避风锚地,简化防台操作流程的同时保障安全。

### 2.2 施工进度管控对照

南方海域施工单位需充分利用台风间隔期推进核心工序,建立完善的台风监测机制,在台风白色预警生效前48小时全面停工,组织施工人员疏散、施工设备加

固,最大限度降低台风影响。北方海域夏季气象条件相对稳定,可集中推进施工进度,受台风影响时仅需短暂停工,施工人员就近撤离至安全区域,台风过境后可快速恢复施工。

### 2.3 风机吊装对比

南方用抗风 $\geq 12$ 级起重船,吊装臂可折叠,预警后折叠固定、拆索具、锚定加固;大型部件运输选抗风浪船只,避台风路径、提前规划避风点;未安装部件用临时固定装置加固;提前48小时组织撤离,无法转移设备多锚点固定并加装防风缓冲装置。北方用常规抗风起重船,预警后固定吊装臂、拆索具;部件运输用普通船只;未安装部件用简易固定装置,露天存放做好防尘防腐;受台风影响停工,人员就近撤离,设备锚定,台风过境后迅速复工。

### 2.4 海缆铺设防台对比

南方优先用带DO动力海缆铺设船,预警后停止作业,收缆或固定末端、添缓冲装置,落实警戒值守和防走锚措施;已铺设未埋深海缆用临时压载物固定,埋深区域加固海床。南方选择台风间隔安全时段,避开高发期,建立应急预案,台风来临前敷设船撤离、监测海缆。北方用抗强热带风暴海缆铺设船,预警后停止作业,转移船舶固定已铺海缆,防勾挂,夏季停工短、恢复快。

### 2.5 人员防台对比

南方海域接到人员撤离通知后,船舶上的施工人员乘坐交通艇上岸避风,需在24小时警戒线设置前完成全部撤离工作,3小时内全员转移至指定休息区域,撤离完成后由保障组逐一清点人数,确保无人员遗漏<sup>[3]</sup>。北方海域在台风预警发布后24小时内组织人员与船舶撤离,施工人员转移至岸基安置点,船舶停靠至安全锚地,撤离结束后及时清点人数,保障人员安全。

### 2.6 防台管理体系比较

南方海域建立三级预警机制,整合多部门资源,提前48小时发布台风预警,重点跟踪土台风的路径与强度变化,建立多层次24小时值班制度,确保预警信息及时传递、应急指令快速落实。北方海域建立二级预警机制,提前24小时发布台风预警,重点关注台风与其他灾害的叠加效应,建立常态化值班制度,保障防台工作有序推进。

### 2.7 应急管控对比

南方海域制定专门的防台应急预案,明确应急组织架构与处置流程,加强多部门协同联动,台风过境后24小时内开展全面巡检,及时排查设备损坏、结构隐患等问题,

快速推进修复工作。北方海域简化防台应急预案,重点关注人员撤离与设备防护,台风过境后重点排查核心施工设备,确保无安全隐患后,12小时内恢复施工。

### 2.8 责任落实与培训

南方推行全员防台责任制,明确单位职责并纳入考核,定期培训演练,开展预警辨认、设备加固等培训,加强防台应急能力,强化施工船舶管理。北方推行专人负责制,专人负责防台,落实人员撤离和设备加固责任,每半年开展一次培训演练,针对弱台风和冬季抗冰防台知识演练。

## 3 典型案例剖析与共性问题总结

### 3.1 典型案例剖析

#### 3.1.1 南方案例

2022年7月2日,近20年以来最强台风“暹芭”在广东阳江登陆,实际测量风力最大达到14级。福建华景海洋科技有限公司旗下福景001起重船在阳江锚地进行防台作业时出现走锚情况,碰撞沙扒风电场风机后断裂并沉没,造成25人死亡、1人失踪,风电场遭受损害,直接经济损失超过12亿元,进一步引发海事方面的纠纷。此次事故的客观原因是台风侵袭,主要原因是实际控制人许军等人未根据要求疏散人员、虚报人数、隐匿情况、否决救援提议;相关项目部在监督落实方面存在不足。主要问题:施工船只锚泊体系冗余欠缺,未选恰当锚地;防台方案流于形式,人员撤离不及时,应急能力缺失;建设和施工单位防台职责落实不到位,未严格审查船舶防台能力,违背相关规定。

#### 3.1.2 北方案例

2021年,在渤海海域,受台风和温带风暴潮共同影响,某海上风电项目在施工期间,由于临时导向架未设置抗冰措施,冰载和弱台风共同作用导致导向架出现变形、打桩船发生走锚情况,施工被迫中断,直接经济损失大约500万元。主要问题:北方建设期间受弱台风叠加影响,临时设施的抗冰设计有所欠缺,防台预案未将复合灾害场景纳入考量<sup>[4]</sup>。

### 3.2 共性问题总结

#### 3.2.1 标准适配性差

当前海上风电建设期防台标准多借鉴南方工程实践经验,未充分结合北方海域复合灾害的特点进行优化调整,导致北方海域出现过度设防现象,增加施工成本;南方海域则因标准针对性不足,部分关键环节防护力度不够,存在安全隐患。

#### 3.2.2 应急管控脱节

部分施工单位防台应急预案流于形式,未有效落实

到具体施工环节, 应急物资储备不足, 施工人员应急处置能力薄弱; 部分单位存在重施工进度、轻防台安全的倾向, 施工船舶防台管理存在明显漏洞, 违规操作现象时有发生。

### 3.2.3 施工进度与防台安全失衡

部分建设单位为加快施工进度, 在台风预警发布后仍不落实防台措施, 甚至存在瞒报台风影响的行为。南方海域台风活动频繁, 施工窗口期相对较短, 部分项目盲目推进进度, 忽视防台安全, 进一步增加安全风险, “福景001”轮事故就是典型例证。

### 3.2.4 技术创新不足

南北方海上风电建设期防台技术存在同质化现象, 缺乏针对性创新。南方海域缺乏台风路径精准预测技术, 难以有效应对土台风的多变特征; 北方海域则缺乏冰载与弱台风叠加灾害的防护技术, 智能化防台水平偏低, 难以满足复杂灾害场景的防护需求。

## 4 南北方海上风电建设期防台优化对策

综合南北方台风环境、项目建设期防台难点及典型案例教训, 按区域定制、分级防控、全流程闭环原则, 从技术改进、管理健全、创新驱动三方面给出差异化防台优化策略, 兼顾安全、成本和效率。

### 4.1 防台技术改进: 定制差异化防台方案

#### 4.1.1 南部海域技术改进

(1) 升级施工设备, 选用抗台风  $\geq 15$  级的施工船舶、起重机, 配备冗余锚泊系统和应急动力装置; 基础施工临时导向架用高强度耐腐蚀钢, 设阻尼耗能装置。如2017年台风天鸽致珠江口某海上风电场周边施工船舶受损, 可参考明阳天成号单点系泊技术优化漂浮式平台施工防台方案。(2) 改革防护技术, 研制台风路径精确预测系统, 提高预警精准度; 在临时施工平台等装智能监测传感器, 实时监控数据, 提前预警。

#### 4.1.2 北方海域技术改进

(1) 适配施工设备, 选择抗台风  $\geq 12$  级的标准化装备, 去除冗余设计; 优化临时设施抗冰设计, 增添破冰环、防冻层。(2) 优化施工进度, 合理规划工期, 夏季集中推进核心工序, 躲开冰期和台风时段; 受台风影响时, 快速停工、就近撤离。(3) 防御复合灾害, 研制冰载与弱台风叠加防护手段, 完善临时结构设计; 加强海冰监控, 提早筹备破冰作业。

### 4.2 搭建全流程防台工作体系

健全预警体系, 南方用先进预报技术和人工智能建立精准预警及实时跟踪机制, 在热带扰动生成时跟踪台

风, 登陆前48小时预警; 北方建立复合灾害预警机制, 登陆前24小时预警。同时强化应急管控, 健全应急处置预案, 明确职责分工, 备齐应急物资; 强化部门协同联动, 组建应急救援团队, 定时演练; 严格执行施工船舶防台管理规定<sup>[5]</sup>。落实防台责任, 推行全员防台责任制, 明确各单位职责, 列入施工考核; 加强监督管理, 审查设备抗台能力与预案可行性。协调进度与安全, 科学规划工期, 预留应急时段, 预警后禁止作业; 南方海域错峰作业, 避开台风多发期, 建立施工进度和防台安全联动体系, 预警时停工撤离。

### 4.3 加强智能化防台能力

一是智能化监测, 在施工区域和设备安装物联网传感器, 建立海上风电建设期防台智能监测平台, 实时监控参数, 预警管控防台风险; 二是数字化模拟, 用数字孪生技术建南北方海上风电建设期防台模型, 模拟台风冲击优化措施, 南方基于数值模拟提高台风路径预测精准度; 三是技术研发与推广, 加大海上风电建设期防台专项技术研发投入, 南方开展土台风预警、船舶抗台技术研发, 北方进行冰载与弱台风叠加防护技术研发, 推广成熟防台技术与经验, 提高全行业防台应急能力。

### 结束语

南北方海上风电建设期防台差异源于台风环境与海洋地质不同。南部海域面临超强台风与巨浪风暴潮威胁, 防台关键在于设备冗余防护、精准预警及应急撤离; 北部海域以弱台风为主, 需适度防护、避免过度设防。当前南北方防台面临标准适配性差、应急管控脱节等共性问题, 福景001轮事故暴露出防台责任落实与设备防护不足。南北方应秉持差异化定制原则, 从技术、管理、创新三方面搭建防台系统, 拟定专门标准, 推进智能化改革, 强化行业协作, 推动海上风电高质量发展。

### 参考文献

- [1] 国家能源局. 关于进一步加强海上风电项目安全风险防控相关工作的通知[S].2022.
- [2] 中华人民共和国广东海事局. 阳江“7·2”“福景001”起重船风灾事故调查报告[R].2023.
- [3] 中国气象局. 中国台风灾害年鉴(2020—2025)[M]. 北京: 气象出版社, 2025.
- [4] 明阳智能. 台风型海上风电机组抗台技术白皮书(2025)[R]. 中山: 明阳集团, 2025.
- [5] 广州海事法院, 广东省高级人民法院. 某海洋科技公司等海上风电作业平台台风事故系列纠纷案[R].2026.