

考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略

熊智辉

南方海上风电联合开发有限公司 广东珠海 519080

【摘要】面对台风这一极端天气现象对海上风电场构成的严重威胁,提出了一种基于多灾害因素联合影响的预测性维护方法。该方法通过收集和分析台风及其引发的强风、暴雨、风暴潮等灾害链数据,结合风电场机组的实时运行状态和历史故障记录,构建预测模型,对风电场各部件的故障风险进行差异化评估。在此基础上,制定并执行差异化的维护计划,以确保风电设施在台风季节的安全稳定运行。该策略能够显著提高海上风电场的抗台风能力,降低故障率和维护成本,为海上风电的可持续发展提供了有力支持。基于此,本篇文章对考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略进行研究,以供参考。

【关键词】台风灾害链;海上风电;预测性维护策略

Predictive maintenance strategy for offshore wind power considering typhoon disaster chain
Xiong Zhihui

Southern Offshore Wind Power Joint Development Co., Ltd. Zhuhai, Guangdong 519080

【Abstract】In the face of the serious threat posed by extreme weather phenomena such as typhoons to offshore wind farms, a predictive maintenance method based on the joint impact of multiple disaster factors is proposed. By collecting and analyzing the disaster chain data of typhoon and its induced strong wind, rainstorm, storm surge, etc., combined with the real-time operation status and historical fault records of wind farm units, this method builds a prediction model to conduct differentiated assessment of the fault risk of various components of the wind farm. On this basis, develop and implement differentiated maintenance plans to ensure the safe and stable operation of wind power facilities during typhoon seasons. This strategy can significantly improve the typhoon resistance of offshore wind farms, reduce failure rates and maintenance costs, and provide strong support for the sustainable development of offshore wind power. Based on this, this article studies the predictive maintenance strategy of offshore wind power considering the typhoon disaster chain for reference.

【Key words】typhoon disaster chain; Offshore wind power; Predictive maintenance strategy

引言

随着全球能源结构的转型和海上风电技术的不断进步,海上风电已成为可再生能源领域的重要发展方向。然而,台风等极端天气现象对海上风电场构成了巨大威胁,不仅可能导致风机损坏,还可能引发大规模停电等严重后果。因此,如何有效应对台风灾害链对海上风电场的影响,成为当前亟待解决的问题。基于此,本文旨在通过一种考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略,以期海上风电的安全运行和可持续发展提供有益参考。

1 海上风电的组成

海上风电的原理(如图1所示)是利用海上风力带动风车叶片旋转,将风能转化为机械能,再通过增速机提升旋转速度,进而将机械能转化为电力动能,最终由发电机产生电力。海上风电主要由以下关键部分组成:海上风电机组是海上风电场的核心,负责将风能转化为电能。风电机组的单机

容量通常在3~5兆瓦,有的甚至更大,叶片长度也可能超过百米。集电海缆是用于将风电机组发出的电能汇集起来。海上升压变电站是将汇集的电能升压,以便通过高压电缆远距离传输。高压送出海缆是将升压后的电能输送到陆地上的电网。陆上集控中心是对整个海上风电场进行远程监控和管理。因此,海上风电是一个复杂的系统工程,各部分协同工作,实现了将海上风能高效转化为电能的目标。

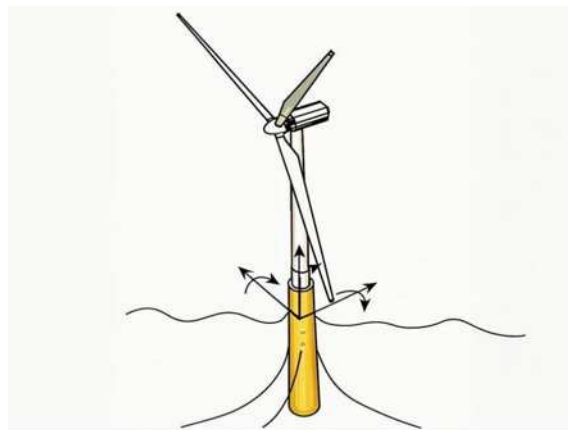


图1 海上风电的原理

2 台风灾害链对海上风电场的影响分析

台风灾害链主要由一系列相互关联的自然灾害事件构成。台风带来的狂风会引发风暴潮,对沿海地区构成直接威胁。随后,强降雨可能导致洪水和山体滑坡,进一步加剧灾情。同时,台风还可能破坏基础设施,如电力线路和交通网络,影响救援和物资供应。次生灾害如影响水质、引发疫情等也可能随之而来,形成灾害链的延伸。这些灾害事件相互交织,共同构成台风灾害链的复杂体系,对人类社会和环境造成深远影响。台风灾害链对海上风电场各部件的冲击机理复杂。台风带来的狂风会对风电机组的叶片、塔架等基础结构施加巨大载荷,可能导致结构疲劳和损坏。同时,风暴潮和强降雨会对海缆、海底基础等设施造成冲刷和侵蚀。风速超过 30m/s 时,风电机组需进入自我保护状态,以防叶片和塔架受损。此外,台风还可能引发次生灾害,对风电场运维构成威胁。台风灾害链对风电场可靠度有显著影响。台风带来的狂风、暴雨和风暴潮等极端天气条件,会导致风电机组受力不均,叶片和塔架等关键部件可能承受超出设计标准的载荷,从而增加故障率。例如,在风速超过 25m/s 的持续作用下,风电机组可能进入自我保护状态而停机,严重影响风电场的发电能力和系统可靠性。与此同时,台风还可能破坏输电线路和基础设施,进一步降低风电场的可靠度。因此,加强预测性维护策略十分重要。

3 考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略构成分析

3.1 多灾害联合建模

针对台风及其灾害链对海上风机各部件冲击机理与载荷特性不同导致可靠度建模困难的问题,可以构建基于 3-DVineCopula 的多灾害联合模型。传统的可靠度建模方法往往只考虑单一灾害因素,难以准确评估台风灾害链对风电场各部件的综合影响。3-DVineCopula 模型是一种高维联合概率分布模型,能够描述多个变量之间的复杂依赖关系。在台风灾害链的情境下,该模型可以刻画不同灾害因素之间的相关性,以及它们对海上风机各部件的共同影响。以海上风机的叶片、塔架和基础为例,可以分别收集这些部件在台风灾害链中的受力数据和故障率数据。然后,利用 3-DVineCopula 模型建立这些部件的联合概率分布,并计算其在不同风速、降雨量、风暴潮等灾害条件下的故障率增量。例如,在风速为 30m/s、降雨量为 100mm/h、风暴潮为 2m 的灾害条件下,叶片的故障率增量为 0.01%,塔架的故障率增量为 0.005%,基础的故障率增量为 0.002%。这些数值可以根据实际数据和模型预测结果进行调整和优化。在台风等

复杂海况下,SCADA 关联数据隐含的时空关系复杂,难以准确描述风电场的态势。为此,将信息熵和循环神经网络引入时序卷积网络中,提出机组态势感知模型,并修正台风灾害链下基于态势感知的可靠度。因此,该模型能够实时感知风电场的运行态势,为预测性维护提供数据支持。

3.2 多时间粒度分层维护

在台风灾害链的影响下,海上风电机组的可靠度会显著下降。同时,风电场的运行态势也会随着环境条件和机组状态的变化而变化。因此,需要制定一种能够根据不同时间尺度的需求进行协调的维护策略,以确保风电场的稳定运行。多时间粒度分层预测性维护策略是基于风电场的实际运行情况 and 台风灾害链的预测结果,将维护计划分为多个时间尺度进行制定和执行。这些时间尺度可以包括短期(如每日或每周)、中期(如每月或每季度)和长期(如每年或更长时间)。例如,某海上风电场位于台风频发的沿海地区,其风电机组经常受到台风灾害链的影响。为了制定多时间粒度分层预测性维护策略,进行短期、中期、长期的维护,具体内容如下:短期维护计划是根据每日的风速、风向和降雨量等气象数据,以及机组的实时运行状态和故障预警信息,制定每日或每周的维护计划。例如,在风速超过 25m/s 时,增加对叶片和塔架的巡检频次,确保机组能够安全运行。中期维护计划是根据每月或每季度的气象趋势和机组运行历史数据,预测未来一段时间内的机组故障率和维修需求。制定相应的预防性维护计划,如更换磨损严重的部件、清洗散热器等。长期维护计划是根据每年的台风灾害链预测结果和机组老化情况,制定长期的维护计划和更新改造计划。例如,在台风季节来临前对机组进行全面的检查和加固,确保机组能够抵御台风的冲击。因此,通过维护计划的制定,可以确保海上风电机组在台风灾害链影响下的稳定运行。

4 考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略实施

4.1 数据收集与分析

在实施考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略时,数据收集与分析是核心环节,直接关系到维护策略的有效性和针对性。需要从多个渠道收集相关数据。气象部门或专业气象网站提供了丰富的台风路径、风速、风向、降雨量等气象数据。这些数据通常以历史数据和实时数据两种形式存在,历史数据用于分析台风灾害链的长期趋势,实时数据则用于即时响应和预警。同时,从风电场的 SCADA(监控与数据采集)系统中,可以获取风电机组的实时运行状态数据,包括但不限于功率输出、转速、振动、温度等关键参数。这些数据能够反映机组在台风灾害链影响下的实际运行状态。

此外,整理风电场过去发生的故障记录也是必不可少的,特别是与台风灾害链直接相关的故障案例。这些历史数据有助于识别故障模式,预测未来可能发生的故障类型。在数据分析阶段,先将收集到的气象数据与机组运行数据进行对比,分析台风灾害链对风电场各部件的可能影响。例如,当风速超过 25m/s 时,需特别关注叶片和塔架的受力情况;当降雨量超过一定阈值时,则需检查电气系统的防潮性能。同时,参考国家关于风电场安全运行的相关标准,如 GB/T18451.1-2012《风力发电机组设计要求》中关于叶片最大承受风速、塔架基础稳固性等规定,将这些数据与风电场的实际情况进行对比分析,评估机组在台风灾害链下的安全运行能力。因此,通过数据收集与分析,能够更加精准地制定预测性维护策略,确保风电场在台风灾害链影响下的安全稳定运行。

4.2 模型构建与验证

在实施考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略时,模型构建与验证是关键步骤。需要构建基于多灾害联合影响的预测模型。该模型可以运用 3-DVineCopula 等方法,将台风及其引发的强风、暴雨、风暴潮等灾害链因素综合考虑,对海上风机各部件的故障率增量进行差异化建模。例如,针对叶片和塔架等关键部件,可以根据历史数据和实时监测数据,设定不同的故障阈值和预警级别。在模型构建完成后,进行验证是必不可少的环节。可以通过模拟台风灾害链的场景,输入不同的气象条件和机组运行状态数据,检验模型的预测准确性和可靠性。具体来说,可以选取过去几年中典型的台风案例,将实际的风速、降雨量等数据输入模型,与实际的故障记录进行对比,评估模型的预测误差和预警成功率。经过多次验证和调整,可以确保模型在实际应用中具有

较高的预测精度和实用性,为海上风电场的预测性维护提供科学依据。随着数据的不断积累和技术的不断进步,还可以对模型进行持续优化和改进,提高其适应性和鲁棒性。

4.3 维护计划制定与执行

在制定与执行考虑台风灾害链的海上风电预测性维护计划时,需细致规划并高效执行。基于预测模型的分析结果,制定差异化的维护计划。对于高故障风险的部件,如叶片和塔架,在台风季节来临前至少提前一个月进行特别检查和维护,确保其能承受极端天气条件。同时,设定不同级别的预警阈值,如当风速达到 25m/s 或降雨量超过 100mm/h 时,立即启动应急响应机制,进行预防性维护。在执行阶段,确保维护团队具备专业的技能和装备,能够迅速响应并执行维护任务。利用无人机等高科技手段进行远程监测和诊断,减少人员风险并提高维护效率。同时,建立严格的维护记录和报告制度,对每次维护活动进行详细记录,并定期评估维护效果,不断优化维护流程。因此,通过制定科学合理的维护计划并严格执行,可以显著降低台风灾害链对海上风电场的影响,确保风电设施的安全稳定运行。

结束语

综上所述,考虑台风灾害链的海上风电预测性维护策略是一种有效的应对台风灾害的方法。通过收集和分析多源数据,构建预测模型,制定并执行差异化的维护计划,可以显著降低台风对海上风电场的影响,提高风电设施的安全性和可靠性。未来,随着大数据、人工智能等技术的不断发展,预测性维护策略将进一步完善和优化,为海上风电的可持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1]王博妮,王锋,葛行成,黄芳,桑小卓,张敏.海上风电气象服务关键技术及应用分析[J].南方能源建设,2025,12(01):65-74.
- [2]奚子惠,韩雪,赵爱博,梁晓红,刘明,王紫玄.基于海上风电工程施工气象风险管控平台的 App 应用[J].海洋信息技术与应用,2024,39(04):241-248.
- [3]卢睿,熊小伏,陈红州.考虑台风时空特性的海上风电场群协同紧急防御策略[J].电力系统保护与控制,2024,52(12):13-24.
- [4]荣俊杰,周明,元博,李海峰,武昭原.台风天气考虑故障演化的电力系统韧性评估方法[J].电网技术,2024,48(03):1114-1131.
- [5]彭泳江,唐程,王呈呈,李鑫鑫.海上风电现场作业风险管控的难点及对策[J].船舶工程,2023,45(S1):127-130.

作者简介:熊智辉,男,1981 年 3 月,福建永定,汉族,本科,职称:电力运行工程师,研究方向:新能源行业、风力发电运行维护、工程建设。