

风电场集电线路故障精准定位对运维效率的影响研究

张辉¹, 王伟¹, 陈旭¹, 王佳男², 梁俊杰², 李根康²

1. 巨鹿县建投风能有限公司, 河北 邢台 054000

2. 巨鹿县建设新能风力发电有限公司, 河北 邢台 054000

DOI: 10.61369/SSSD.2026090017

摘 要 : 在“双碳”目标的驱动下,我国风电产业飞速发展,正从“规模扩张”向“高质量发展”转型,成为落实“双碳”目标、构建新型电力系统的核心组成部分。作为风电场电能传输的核心枢纽,集电线路运行稳定性将会对风电场的发电效率、安全水平产生直接影响。风电场集电线路具有覆盖范围广、运行环境复杂、故障发生率高、故障排除难度大等特点,传统故障定位方法精准度不高,耗时长,已经成为限制运维效率提升的重要因素。而集电线路故障精准定位能够有效缩短故障定位和排查时间,降低资源损耗,对提升风电场运维效率具有重要作用。对此,本文就风电场集电线路故障精准定位对运维效率的影响进行深入研究,旨在为提升风电场运维效率提供一些参考和借鉴。

关 键 词 : 风电场; 集电线路; 故障精准定位; 运维效率

Research on the Impact of Accurate Fault Location of Collector Lines in Wind Farms on Operation and Maintenance Efficiency

Zhang Hui¹, Wan Wei¹, Chen Xu¹, Wang Jia'nan², Liang Junjie², Li Genkang²

1. Julu County Jiantou Wind Energy Co., Ltd., Xingtai, Hebei 054000

2. Julu County Jiantou Xin'eng Wind Power Generation Co., Ltd., Xingtai, Hebei 054000

Abstract : Driven by the "dual carbon" goals, China's wind power industry has developed rapidly, transforming from "scale expansion" to "high-quality development", and has become a core component of implementing the "dual carbon" goals and building a new power system. As the core hub for power transmission in wind farms, the operational stability of collector lines directly affects the power generation efficiency and safety level of wind farms. Collector lines in wind farms are characterized by wide coverage, complex operating environments, high fault rates, and great difficulty in fault elimination. Traditional fault location methods have low accuracy and long time consumption, which have become important factors restricting the improvement of operation and maintenance (O&M) efficiency. Accurate fault location of collector lines can effectively shorten the time for fault location and elimination, reduce resource loss, and play a crucial role in improving the O&M efficiency of wind farms. In this regard, this paper conducts an in-depth research on the impact of accurate fault location of collector lines in wind farms on O&M efficiency, aiming to provide reference for improving the O&M efficiency of wind farms.

Keywords : wind farm; collector line; accurate fault location; operation and maintenance (O&M) efficiency

引言

截至2025年底,我国风电累计并网容量达6.4亿千瓦,同比增长23%,约占全国电力总装机的16%,占全球风电总装机的40%以上^[1]。集电线路作为连接风力发电机组与升压站的关键环节,承担着汇集和传输电能的重要任务,其运维效率将会对风电场的整体效益产生直接影响。然而,集电线路存在线路长、分支多、运行环境复杂等特点,故障率居高不下,严重影响风电场的整体效能。根据行业统计,风电场集电线路故障占全场电气故障的60%以上。传统故障定位方法,如人工巡检、阻抗法等存在一定局限,定位误差较大,故障排查工作耗时巨大,这不仅会造成大量电能损失,同时还会增加运维人员的工作难度和安全风险。

在此背景下,探究集电线路故障精准定位对运维效率的影响,提出行之有效的策略,对于提升风电场管理水平、降低运维成本、保障风电场安全稳定运行具有重要现实意义^[2]。

一、集电线路故障精准定位对运维效率的核心影响

（一）缩短故障排查时间，提升抢修响应速度

在风电场运维工作中，故障排查往往需要耗费大量的时间，这也是影响抢修效率的主要因素之一。以往，阻抗法是进行故障定位的主要方法之一，然而，这种方法容易受负荷波动、过渡电阻以及线路参数误差等因素的影响，故障定位精准度不高^[3]；除此之外，人工巡检也常被运用在线路故障排查工作中。这种方法不仅对运维人员的专业素养有着较高的要求，同时也往往耗费大量的时间，严重影响排查效率的提升。

故障精准定位技术，如行波法、分布式光纤传感法、人工智能融合定位法等，能够实现精准定位，极大地缩小定位误差，运维人员可根据定位结果快速完成故障抢修，极大地缩短故障排查和检修时间，显著提升抢修效率。

（二）降低停电损失，提升风电场发电效益

风电场集电线路故障可能会导致整条线路上的所有风机停电，造成巨大的发电量损耗。以一条装机容量50MW的集电线路为例，假设平均风速为6m/s，该机组每小时可发电量约为2.5万千瓦时，按照当前上网电价进行计算，每小时经济损失可达7500元。若故障排查超过10小时，发电量损失可达25万千瓦时，经济损失超过7.5万元。精准的故障定位能够有效缩短维修时间，降低发电量损失，增加经济收入，提升风电场发电效益^[4]。

（三）优化运维资源配置，降低综合运维成本

在传统运维模式下，为了顺利处理集电线路故障，风电场往往会配备大量的检修人员和设备。一旦发生故障，往往需要耗费大量的人力和物力资源。同时，长时间的户外巡检工作也会一定程度上增加运维人员的安全风险，管理成本随之也会不断提升。

故障精准定位能够实现运维资源的优化配置，提升资源投放的精准性，减少人力和物力资源的损耗，仅安排少量运维人员和设备即可快速完成检修任务。这不仅减少资源投入，还缩短抢修时间，降低运维人员的安全风险。除此之外，故障精准定位能够准确获知故障的类型和严重程度，为运维人员快速完成故障抢修、避免因准备不足导致二次延误奠定基础^[5]。

（四）推动运维模式升级，提升管理精细化水平

传统运维工作以故障抢修为主，缺乏对故障规律的深入分析和精准预判。故障精准定位系统能够利用先进的技术手段，收集故障发生的时间、位置、类型等数据，形成一个庞大的故障数据库。通过利用大数据技术，可对相关数据进行深入分析，总结出不同区域、不同季节、不同类型故障的发生规律，提前预测故障高危区域，为开展预防性维护工作提供数据支撑，推动运维模式升级，由传统的“被动抢修”向“主动预防”方向转变^[6]。除此之外，故障精准定位系统还能够为集电线路的设计、优化提供数据支撑。例如，通过对故障数据进行深入分析，在新建风电场集电线路设计过程中，可优化设计方案，规避自然灾害高发地区，从源头降低故障发生率。

二、提升风电场集电线路故障精准定位的策略

当前，风电场集电线路故障主要存在技术应用不充分、监测体系不完善、数据利用率较低等问题，导致运维效率难以提升^[7]。对此，本文从技术融合、系统建设、数据应用等三个方面着手，提出行之有效的风电场集电线路故障精准定位策略。

（一）融合多技术优势，提升故障定位精度

传统的故障定位技术存在一定局限，往往定位误差较大^[8]。因此，在新时期，有必要结合不同定位技术的优势，构建多技术融合的复合定位方案，以此提升故障定位精度。行波法是当前主流的精准定位技术，具有定位精度高、不受过渡电阻影响等优势，其对行波信号的收集和识别有着较高的要求；分布式光纤传感法能够实现线路全段进行实时监测，故障定位较为准确，但经济成本较高；阻抗法也是一种常见的故障定位技术，其所需设备较为简单，经济成本较低，但存在较大的定位误差，可将其作为辅助定位手段。在具体实践中，可采用“行波法为主+阻抗法为辅+光纤传感补充”的融合定位模式。在集电线路首端与分支处安装行波采集装置，利用行波法实现故障的初步定位；可利用阻抗法进行交叉验证，以此消除误差，提升故障定位准确度。同时，还可以在重要区域或故障高发区域铺设分布式光纤，以此实现故障的精准定位。除此之外，还可以将人工智能、大数据等先进技术引入，通过对历史故障数据进行收集和分析，提升故障信号的识别准确率和定位速度。

（二）完善全域监测体系，实现故障实时感知

为了实现故障精准定位，还有必要构建覆盖集电线路全段的智能化检测体系^[9]。当前，大部分风电场仅在升压站侧安装故障定位装置，并未在线路分支、末端等位置安装，这导致故障定位不准确，存在较大误差。对此，应优化检测装置的布局，在集电线路的每条分支、末端等位置安装故障指示器、行波采集终端等，以此实现对线路的实时检测。同时，还可以利用物联网技术，将检测装置与风电场调度中心连接，构建“终端采集——网络传输——平台分析”的一体化监测系统。检测装置能够实时收集各种数据，如电压数据、电流数据、行波等，并通过5G或光纤网络传送至平台，平台对收集的数据进行深入分析，一旦发现数据异常，检测到故障，立即发送故障信息，包括故障类型、故障位置等内容，实现故障的精准感知和定位，为故障抢修奠定坚实基础。

（三）建立故障数据平台，深化数据价值应用

数据是提升故障定位精准度和运维管理水平的重要资源^[10]。当前，部分风电场的故障数据存储较为分散，缺乏统一、规范的管理和分析，数据价值并未得到充分挖掘和利用。对此，有必要构建一个故障数据平台，整合历史故障数据，推动数据资源共享，深化数据价值应用。

对此，可利用大数据、人工智能等技术对数据库数据进行深度挖掘，全面分析故障发生规律、类型特点、季节特征等因素，构建故障预测模型，以此实现故障的精准预测，为后期故障预防和检修工作的顺利开展提供助力。例如，可结合故障数据精准预

测线路在冰雪、雷雨等自然灾害下发生故障的概率，提前发布预警信息，制定针对性的维护方案，实现资源的优化配置，为风电场的稳定运行奠定基础。此外，还可通过数据共享实现行业内的经验交流，汇总不同地形、不同类型风电场的故障案例与定位经验，不断优化故障定位算法与运维策略。

（四）加强运维能力建设，保障技术落地见效

在新时期，还应不断加强运维能力建设，组建专业化的运维团队，以此保障故障定位技术落地见效。当前，部分风电场运维人员专业素养薄弱，对新型故障定位设备、系统等缺乏深入了解，操作生疏，导致技术优势并未充分发挥出来。对此，应加强运维人员培训，定期组织故障定位相关培训活动，培训内容包括故障识别与排查、故障定位系统使用等，以此提升运维人员的专业素养和综合能力。除此之外，还应完善运维管理制度，明确故障定位、抢修响应、数据记录等环节的工作流程与标准，确保故障发生时能够快速响应、高效处置。将故障定位精度、故障处理时间等指标纳入运维人员的绩效考核，激发运维人员的工作积极

性与主动性。同时，加强与设备厂家、科研机构的合作，及时获取技术支持与升级服务，保障故障定位系统的稳定运行与持续优化。

三、结语

总之，集电线路故障精准定位是提升风电场运维效率的核心抓手，其通过缩短故障排查时间、降低停电损失、优化资源配置、推动运维模式升级，能够显著提升风电场的发电效益与管理水平。在风电产业高质量发展的背景下，风电场需高度重视集电线路故障精准定位技术的应用与创新，通过多种方式和手段，提升风电场运维效率。未来，随着新兴技术的不断发展和进步，集电线路故障定位将向更精准、更智能的方向发展。风电场应持续跟踪技术前沿，结合自身实际情况不断优化故障定位方案，最大限度降低故障影响，保障风电场安全、稳定、高效运行，为我国“双碳”目标的实现提供坚实的能源支撑。

参考文献

[1] 崔浩杰, 林莘. 基于信息矩阵的海上风电场集电线路故障定位研究 [J]. 电工技术, 2025, (24): 92-95.

[2] 尹飞, 沈志中, 余从极, 等. 海上风电场集电线路两相短路故障的在线故障测距方法 [J]. 可再生能源, 2025, 43(12): 1647-1654.

[3] 陈明云. 风电场集电线路跳闸原因分析及应对措施 [J]. 福建水力发电, 2025, (02): 54-55.

[4] 景圆圆. 新能源风电场集电线路常见故障及预防策略研究 [J]. 中国战略性新兴产业, 2025, (32): 97-99.

[5] 李德胜. 风电场集电线路电缆故障查找与改进 [J]. 大众用电, 2025, 40(09): 55-56.

[6] 唐雪峰. 风电场集电线路电气设计与故障研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(16): 121-124.

[7] 李俊男. 风电场集电线路隐患放电识别特性研究 [J]. 电气技术与经济, 2025, (08): 293-296.

[8] 张宁. 某风电场 35kV 集电线路分布式故障监测装置加装效果研究 [C]// 中国农业机械工业协会风能装备分会, 第十二届中国风电后市场交流合作大会论文集, 中节能(原平)风力发电有限公司; 2025: 182-186.

[9] 王秉金, 景浩. 基于非线路故障情况下过流二段故障处理措施分析——低电压无功运行工况稳定性分析 [C]// 中国农业机械工业协会风能装备分会, 第十二届中国风电后市场交流合作大会论文集, 嘉泽新能源股份有限公司, 2025: 193-195.

[10] 高毅. 风电场集电线路故障定位与保护技术研究 [J]. 电力设备管理, 2025, (13): 167-169.

[11] 张恒坤, 白迪. 风电场集电多分支线路故障区段定位方法 [J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2025, 21(03): 74-79.