

风电场集电线路故障预防与快速定位实践分析

张辉¹, 万伟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.2026090016

摘 要 : 随着全球“双碳”目标的深入推进, 风电作为清洁能源的重要组成部分, 其装机容量持续增加, 集电线路作为风电场电能汇集、传输的神经网络, 具有安全稳定的特点, 它也直接影响着风电场的发电效率、经济效益以及供电可靠性。然而, 风电场主要选址在高海拔的山区、矿业荒原和沿海滩涂等自然条件恶劣的地区, 集电线路长期处于复杂的环境中, 这也受气象灾害、设备老化等外界因素影响, 故障频发并且难度较大, 会直接导致出现较大的经济损失。基于此, 本文深入探究风电场集电线路故障预防与快速定位, 进而助力风电场实现安全、高效和稳定运行。

关 键 词 : 风电场; 集电线路; 故障预防; 故障定位; 运维管理

Practice Analysis of Fault Prevention and Rapid Location for Collector Lines in Wind Farms

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'heng Wind Power Generation Co., Ltd., Xingtai, Hebei 054000

Abstract : With the in-depth advancement of the global "dual carbon" goals, wind power, as an important component of clean and renewable energy, has witnessed a continuous increase in installed capacity. As the neural network for power collection and transmission in wind farms, collector lines feature safety and stability, and directly affect the power generation efficiency, economic benefits and power supply reliability of wind farms. However, wind farms are mainly located in harsh natural environments such as high-altitude mountainous areas, mining wastelands and coastal tidal flats. Collector lines are exposed to complex environments for a long time and affected by external factors such as meteorological disasters and equipment aging, resulting in frequent faults and great difficulty in troubleshooting, which directly leads to significant economic losses. Based on this, this paper conducts an in-depth exploration on the fault prevention and rapid location of collector lines in wind farms, so as to assist wind farms in achieving safe, efficient and stable operation.

Keywords : wind farm; collector line; fault prevention; fault location; operation and maintenance management

引言

近年来, 我国风电产业实现跨越式发展, 容量目前已稳居全球首位, 成为推动能源结构转型、实现“双碳”目标的关键力量。集电线路作为风电场的重要组成部分, 承担着将单台风机发出的电能汇集、输送至升压站的重要使命, 这也是连接风力发电组合电网的桥梁, 运行的状态直接影响着整个电厂的运营成效。然而, 目前我国风电场逐渐向深远海、高海拔地区拓展, 集电线路的运行环境将更加复杂, 故障发生的概率也逐渐提升, 难度不断加大。这就需要优化运维管理模式, 降低故障发生率, 缩短故障处理的时间。

一、集电线路常见故障类型及成因

(一) 主要故障类型

从国内大量风电场运行数据来看, 集电线路故障以单相接地、相间短路、雷击闪络、电缆接头故障、外力破坏五类最为典型。

单相接地故障最为常见, 它主要表现在线路某一相导体与大地或接地体意外连通, 表现为零序保护动作跳闸。如果修复不及时则可能会出现相间短路, 从而导致设备的绝缘受损。

相间短路故障电流相对较大, 破坏性也比较强, 通常恢复的时间也较长。雷击故障主要体现在山区和开阔地带, 过电压易造

项目信息: 基于高频电流的检测的电缆集电线路故障智能预警和精准定位技术研究。

成绝缘子击穿，避雷器失效。出现故障后，故障点会产生剧烈的电弧，从而温度急剧升高，导致电缆过热而出现烧毁，引发火灾现象^[1]。

雷击故障也较为常见，具有较为明显的季节性差异，在多雷地区容易出现这类问题，故障特征主要为电压保护器动作，存在故障点伴随烧灼的痕迹，跳闸出现的可能性较大，雷击容易导致线路绝缘层局部碳化，从而引发故障问题。

绝缘老化故障也是主要的故障种类之一，它表现为绝缘电阻下降，局部放电量超标，跳闸的概率相对较大，并且修复时间也比较长，故障点相对隐蔽，需要大范围的排查，长期运行容易导致绝缘性能的不断恶化，从而导致击穿故障。

除此之外，还包括线路故障、接触不良和复合型故障问题，断线故障表现为回路电阻无穷大、通信中断，会导致发电量中断，直接影响到网络的稳定性。如果产生复合型故障，抢修的难度将会更高，容易产生次生故障，修复的时间也会更长^[2]。

（二）故障主要成因

1. 自然环境因素

自然环境因素是户外集电线路故障的主要因素，风电场选址具有特殊性，这就导致线路长期在恶劣的环境下暴露。一是气候在还会有影响，强风会导致线路出现剧烈的摇摆，从而产生导线与杆塔、导线与导线之间的放电，长期风疲劳还会造成导线、金具器械出现损伤。暴雨，冰雪会直接侵蚀线路的绝缘层，从而降低绝缘的性能，产生闪络事故，导致地线覆冰过载，并出现断线倒塔。高海拔地区的紫外线较高，温度较低也容易导致绝缘层出现老化问题。

2. 设备自身因素

设备自身存在较大的缺陷，集电线路故障是最关键的原因。一是设备制造缺陷，电缆、绝缘子、金具、断路器等设备在生产的过程中存在工艺上的缺陷，包括电缆绝缘层厚度不均匀，绝缘子瓷质开裂，金具材质不达标，容易导致设备的运行效率下降。电流互感器则作为电力系统的重要组件，其极性正确性直接影响保护装置的动作^[3]。二是设备存在老化问题，集电线路设备长期在电、热、机械应力联合作用下运行，会出现老化的情况，电缆绝缘层出现氧化。三是设备选型不当，如果选用的设备不符合风电场恶劣的环境要求，包括在多雷地区没有选用防雷性能较强的绝缘子，在沿海地区没有选用耐盐雾腐蚀的电缆，则容易导致设备出现寿命缩短的问题。

3. 施工质量因素

施工质量是集电线路长期稳定运行的基础，在实施过程中的不规范操作则会留下一系列的隐患问题。一是线路敷设不规范，架空线立杆不垂直，会导致张力不足或较大，会产生显线摆幅度增加，引发短路或断线的情况。电缆敷设时牵引力超过预定值，则会导致导体出现变形的情况，挖掘机误操作会导致电缆外护套破损。二是接头处理不当。电缆中间接头，终端头是线路的薄弱环节，如果压接工艺不良，接触电阻将直接超标，会导致局部过热。三是接地系统施工缺陷，接地体埋地的深度不足、接地电阻超标，也会导致雷击电流无法及时泄放，从而增加雷击故障的概

率。四是施工验收不合格，施工完成后没有按照规范进行电阻测试和交接试验，无法及时发现施工隐患，从而导致投运后故障问题频频出现^[4]。

二、风电场集电线路故障预防与快速定位

（一）预防方法

优化设备的选型。设备选型的合理性直接影响着集电线路运行的可靠性。这就需要根据风电场的地理环境、气候条件展开分析，选择合适的设备，从源头上减少故障问题。一是电缆的选型应根据风电场的环境分析，选择耐老化、耐高低温、耐盐雾、抗紫外线的电缆，确保其具有良好的绝缘性能和机械性能，适合风电场集电线路的使用。沿海风电场应选用耐盐雾腐蚀的海底电缆，保障敷设的深度在1—3米中间，增强抗腐蚀的耐力。二是绝缘子与金具的选型，多雷地区主要选用防雷绝缘子，增强线路放电的能力。污染严重的地区则需要选用防污绝缘子，减少绝缘子故障。三是保护设备选型，选用性能可靠、动作精准的断路器、隔离开关等设备，确保设备保护的有效性^[5]。四是辅助设备选型，配备可靠的防雷装置以及接地装置，降低雷击的概率。

严格施工规范。施工的质量直接影响着故障预防的效果。为此，这就需要强化施工管理。一是优化线路路径设计，选用地理信息系统分析周边地形、交通等信息，借助卫星影像和地形数据，避开重型车辆通行区、规划道路、地质灾害隐患区。电缆沟开挖依据地质勘探报告确定深度，避免沟壁出现塌陷。二是规范线路敷设的施工，架空线路立杆应垂直，导线张力控制在合理的范围内，避免导线过度松弛或过紧。线缆敷设应采用张力放线设备精准控制张力，避免拉伸和松弛受损。三是加强接头处理，电缆中间接头、终端头由专业资质的人员进行工艺规范操作，采用专用保护盒填充高性能绝缘防水密封胶，防止水分、灰尘入侵，避免局部放电或绝缘击穿。

强化运维管理。常态化的运维管理是预防集电线路故障的重要方式。为此，这就需要建立健全管理机制，优化运维模式，提高运维人员的素质能力。一是构建完善的巡检制度，结合风电场的实际情况制定巡检计划，确保巡检工作的有效开展。在巡检的过程中可以采用人工巡检、智能巡检一体化的模式，构建立体巡检网络。人工巡检重点检查导线、绝缘子、接头装置等设备的运行状态，及时清理线路的杂物，排查外力破坏问题。智能巡检则利用无人机、智能摄像头等设备发现隐患缺陷，可以利用红外测温等技术实时捕捉异常信号。二是加强设备状态的监测，安装在线监测系统，实时监测线路的温度、绝缘性能等数据，建立设备状态数据库，结合数据信息进行分析，及时发现异常问题。三是加强防雷保护维护，定期检查避雷针、避雷器等防雷设备的运行情况，及时清理避雷针上的杂物，检查避雷器的绝缘性能，测试接地电阻，确保防雷设备的有效运行^[6]。四是提升运维人员专业素养，定期开展专业技能培训，邀请行业专家进行授课，分享实践经验。组织运维人员开展应急演练，确保提高故障应急处理能力。

（二）快速定位方法

故障录波分析法。通过安装故障录波装置，记录故障发生期间的电压、电流波形等数据信息，结合保护装置的动作信息，分析故障的类型和故障相位、故障距离等参数，进而确定定位故障点。这种方法适合应用于各类故障的定位，特别是复杂故障，定位精准度较高，能够为故障分析提供数据上的支持^[7]。

行波故障定位技术。利用故障发生时产生的行波数据，通过行波定位装置测量行波的传播时间和速度，计算故障点的距离。这种方法定位速度较快，精度比较高，不受故障类型、过渡电阻的影响，更加适用于架空线路和电缆线路的故障定位，行波故障定位技术分为单端定位和双端定位。单端定位只能在线路的一端安装定位装置，操作较为简单，成本比较低。双端定位则需要在线路两端安装定位装置，确保定位的精准度更高，它更加适用于复杂的地形和长距离的线路^[8]。

无人机巡检定位技术。利用无人机的机械性和高清摄像功能，对集电线路进行空中检测，并利用无人机设备的红外热像仪、高清摄像头，及时捕捉线路的故障问题，实时传输图像数

据。运维人员则需要通过地面终端快速定位故障点。这种方法更加适用于地形复杂、交通不便的区域，能够提高巡检的效率和定位的精准性，减少人工巡检的工作量和安全风险^[9-10]。

三、结语

综上所述，风电场集电线路是电能汇集和传输的重要方式，其安全稳定运行对风电场的发电效率、经济效益和供电可靠性具有影响。目前，风电集电线路容易受自然环境、设备自身和施工质量等多种因素影响，出现故障问题并且具有较高的定位难度，这也影响了风电场的正常运行。为此，这就需要通过优化设备选型、严格施工管理减少故障隐患。并采用智能化的故障定位技术，精准找出故障问题。未来，随着风电产业的持续发展以及智能化技术的进步，风电集电线路故障预防和快速定位技术将更加智能化和精准化，确保缩短故障处理时间，为风电产业高质量发展提供支持。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 何云飞. 基于时频域的风电场集电线路故障定位方法研究 [D]. 昆明理工大学, 2025.
- [7] 李俊男. 风电场集电线路隐患放电识别特性研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(09): 134-137.
- [8] 王帆, 孟锦国, 姚新建, 等. 海上风电场集电线路修复案例分析 [J]. 水电与新能源, 2025, 39(04): 66-68+72.
- [9] 方占跃. 混架风电场集电线路故障测距方法研究 [J]. 电气技术与经济, 2025, (04): 40-43.
- [10] 赵忠立, 贾焜. 风电场集电线路故障在线定位方案探讨 [J]. 农村电气化, 2025, (02): 44-47.