

风电场光纤通信中光缆故障位置的确定技术分析

隋炳刚

华润电力山东新能源公司 山东 济南 250000

摘要：风电场日常运营的过程中，光纤通信系统它主要传递输送风电场监控数据以及远程指令相关信息，它作为确保风电场安全高效运行的基础。然而风电场光纤系统的光缆故障时有发生，影响到了风电厂的正常运行，并且对电网稳定安全造成了一定的影响。因此，针对风电场光纤通信中的光纤故障定位确定技术开展分析，有助于能够准确快速的确定光缆故障位置，能够提高通信恢复的效率，降低企业经济损失。

关键词：风电场；光纤通信；故障位置；定位技术

引言：随着风电场规模的不断扩大和智能化水平的提升，光纤通信系统作为风电场数据传输和监控的重要基础设施，其稳定性和可靠性对于风电场的运行至关重要。然而，由于风电场环境的复杂性和光缆自身的物理特性，光缆故障时有发生，给风电场的正常运行带来严重影响。因此，如何快速准确地确定光缆故障位置，成为风电场光纤通信系统维护和故障排查的关键问题。

1 光纤通信概念

光纤通信是一种利用光波作为信息载体，在光纤中进行长距离、大容量、高速率传输的通信方式。光纤通信具有传输损耗低、抗干扰能力强、传输距离远、带宽大等优点，因此在风电场等需要长距离、高可靠性数据传输的场合得到了广泛应用。在风电场中，光纤通信系统主要用于风电机组与中央监控室之间的数据传输，包括风电机组的运行状态、发电量、风速风向等实时数据，以及中央监控室对风电机组的远程控制和调度指令。光纤通信系统的稳定性和可靠性直接关系到风电场的运行效率和安全性。然而，由于风电场环境的特殊性，如强风、雷电、低温等恶劣天气条件，以及光缆铺设过程中的施工质量和维护管理等因素，都导致光缆出现故障。光缆故障不仅会影响风电场的数据传输和监控功能，对风电场的运行安全构成威胁。因此，如何快速准确地确定光缆故障位置，及时排除故障，恢复光纤通信系统的正常运行，对于风电场的运维管理具有重要意义。

2 风电场光纤通信中光缆故障类型

2.1 自然因素导致光缆故障

自然因素是导致风电场光纤通信光缆故障的重要原因之一，其主要包括以下几个方面：第一，极端天气条件。在风电场光纤通信系统中，光缆常常暴露于极端天

气条件下，如强风暴雨、雷电交加、极寒酷暑等。强风暴雨导致光缆受到物理冲击，出现断裂或松动，进而影响光信号的传输。雷电活动则引发电磁干扰，干扰光缆中光信号的稳定传输，严重时甚至直接击毁光缆。极寒天气下，光缆材料因低温而变脆，增加了断裂的风险；酷暑天气则使光缆内部温度升高，加速材料老化，降低光缆的传输性能。这些极端天气条件对光缆构成了严峻的考验，是导致光缆故障的重要因素之一。

第二，地质变化影响。地质变化也是导致风电场光纤通信光缆故障不可忽视的自然因素。地震、地面沉降、山体滑坡等地质现象，都对埋设在地下的光缆造成直接或间接的损害。地震产生的震动波导致光缆断裂或错位，影响其正常传输功能。地面沉降则使光缆受到挤压或拉伸，导致光缆性能下降或完全失效。山体滑坡等自然灾害则直接掩埋或损坏光缆，给光缆的维修和恢复带来极大困难。因此，地质变化对光缆的安全运行构成了严重威胁。

第三，动植物影响。通信光缆在运行的过程中，由于受到老鼠白蚁等动物的啃咬也会导致光缆的外皮受到磨损，使得光缆的内部光纤暴露容易受到损伤，而鸟类在光缆上筑巢同样也会给光缆造成污泥压迫影响到光信号的传输。另外，一些植物生长也会给光缆造成影响，例如：树根穿透光缆的保护层，使得光缆的内部结构损伤。这些动物以及植物活动看似微小，但是长期日益累积下来，在一定的范围内给光缆造成的损害属于不可逆转的，直接影响到风电场光缆通信系统的稳定性。

2.2 人为因素导致光缆故障

第一，施工维护不当。光缆施工时，由于施工人员操作不当，也会容易导致光缆故障问题出现。例如在光缆施工阶段，由于施工人员的专业技能不熟，在光缆铺设时导致光缆的外部结构受到破坏，当时并未及时发

作者简介：隋炳刚（1993年1月—），男，汉族，山东诸城人，大学本科，主要研究方向为新能源发电。

掘,但是就是到外界条件影响之下,破坏范围会逐渐增加,影响到了光缆的正常使用寿命。此外,维修的阶段中采用的维修方法不够针对性也会导致光缆系统的故障进一步的扩大,因为一些维修方法它不能够精确的识别光缆的潜在故障位置,这就使得故障在检修时不能够精确定位故障长期潜伏也会加剧了故障的蔓延

第二,意外破坏盗窃。风电场光缆线路往往铺设在野外,容易受到人为意外破坏。例如,车辆碾压、农具误伤等意外事件导致光缆断裂。此外,光缆中的光纤和金属材质使其具有一定的经济价值,因此也成为盗窃的目标。盗窃行为不仅会导致光缆线路的中断,对风电场的正常运营造成严重影响。

第三,管理不善。光缆线路的管理与维护是保证其正常运行的关键,然而,若风电场或相关管理部门在光缆线路的管理上存在疏忽,如未制定完善的维护计划、未进行定期的检查与测试,或未能及时响应光缆故障报警等,都导致光缆故障的发生。此外,对于光缆线路周围环境的监测与管理不善,如未能及时发现并处理影响光缆安全的隐患,也增加光缆故障的风险。

2.3 电腐蚀导致光缆故障

第一,电力线路与光缆线路接近导致的电腐蚀。在风电场环境中,电力线路与光缆线路往往并行铺设,以实现电力传输与数据通信的双重功能。然而,当两者距离过近时,电力线路中流过的电流产生电磁场,对邻近的光缆产生电腐蚀效应。这种电腐蚀主要表现为光缆外皮材料的逐渐老化、硬化,甚至引发光缆内部光纤的断裂。具体而言,电力线路中的强电流会在其周围形成电磁场,当光缆处于该电磁场中时,光缆外皮材料中的分子会受到电场力的作用,发生定向排列和极化现象。长期作用下,这种极化现象会导致材料结构的改变,进而引发材料的老化和硬化。此外,电磁场引发光缆内部的微小放电现象,对光纤造成直接损伤。

第二,电力故障引发的瞬态过电压。风电场电力系统中,由于设备老化、操作失误或外部因素干扰,偶尔会发生短路、断路电力故障,这些故障引发瞬态过电压现象,即短时间内电压急剧升高,远超正常电压范围。当这种瞬态过电压作用于光缆时,对光缆造成严重的电腐蚀损伤。瞬态过电压会在光缆中引发强烈的电磁感应,导致光缆外皮材料中的电荷迅速积累并释放,产生高温和电弧。这种高温和电弧不仅直接烧毁光缆外皮,对光缆内部的光纤造成物理损伤或化学腐蚀。

第三,接地不良导致的电腐蚀。风电场光缆通信系统运行阶段中光缆的接地,作为提高风电场光纤通信系

统运行的基础重点。倘若光缆接地不良,就会使得光缆中的电荷不能及时的释放,导致电腐蚀的情况存在。一般情况下接地不良它会使得光缆的外皮材料的电荷累积逐渐形成静电场,当静电场的作用发挥到一定范围时,光缆的外皮材料就会出现极化变形甚至是川基,这就导致光缆性能的综合能力下降。另外,接地不良也会使得光缆在雷的自然条件下产生电磁干扰和电磁损伤因为累积的产生,它的强电流会沿着电力路线传播,在遇到这种情况下,电缆就不能够实现对系统内部结构的保护,导致光缆系统的腐蚀问题进一步加剧

3 光缆故障位置的确定技术

3.1 OTDR测试法

OTDR测试法,即光时域反射仪(Optical Time-Domain Reflectometer, OTDR)测试法,是一种用于确定光缆故障位置的技术。该方法通过向光缆中发射光脉冲,并接收由光缆内部散射和反射回来的光信号,来测量光缆的长度、衰减情况以及故障点的位置。在OTDR测试法中,激光头发出的光脉冲在光缆中传输时,会与光缆材料发生瑞利散射和非涅尔反射。瑞利散射是光信号沿着光缆产生无规律的散射,而非涅尔反射则是由光缆中连接点、断点等引起的离散反射。OTDR会采集和测量这些背向散射回来的光信号,并将其转换为电信号进行处理。通过计算光脉冲从发射到接收的时间差,并结合光缆中光的传播速度,可以计算出光缆中不同位置上的距离。同时,根据背向散射光信号的强度变化,可以绘制出光缆的衰减曲线,从而直观地显示出光缆的衰减情况和故障点的位置。

3.2 断线定位法

断线定位法作为常见的故障定位技术之一,该技术在应用时通过设备向光缆中发送电信号,在接收到信号之后,系统就会能够实现来回传递,此时信号系统就会包含光缆中的各个位置信息,然后通过特定的算法可以把光缆存在断裂或者是异常点的具体位置准确地显示在操作端。一般来说,断线定位方法它能够提供更精确的断裂点或者是针对测试端的精确距离进行明确,该距离通常范围处于在一米左右的范围。另外,断线定位法在光缆故障检测的过程中,还能够了解到光缆各个位置的衰减反射系数。工作人员通过掌握这些技术能够进一步分析光缆的性能运用情况以及故障的发生范围,而需要注意的是由于断线定位法的精度以及可靠性,通常会受到光缆的结构类型以及光缆的埋深等方式的影响,就会出现判断数据误差。在这种情况下,需根据实际情况做好设备参数调整(人表1所示),同时做好测试结果对比,才能够

提高断线定位法的应用效果。

表1 断线定位设备参数调整

序号	参数名称	初始设置	调整值	调整要求
1	信号强度	100mV	+20mV	按照光缆长度和损耗调整
2	信号频率	1kHz	1.5kHz	按照光缆类型和特性调整
3	采样率	10kHz	15kHz	提高采样率以提高定位精度
4	滤波设置	低通滤波	带通滤波	按照信号噪声情况调整
5	测试范围	10km	15km	按照光缆总长度调整
6	算法选择	基础算法	高级算法	按照测试精度要求选择

3.3 织纤光缆故障定位技术

风电场光纤通信中，该技术结合了先进的计算机算法与专为风电场环境设计的精密测试设备，旨在应对风电场复杂多变的自然条件对光缆性能的影响，实现对光缆内部故障点的精确识别。在风电场光纤通信系统中，织纤光缆作为信息传输的重要载体，其稳定性和可靠性对于风电场的正常运行至关重要。然而，风电场往往位于偏远地区，环境条件恶劣，如强风、沙尘、低温等，这些都对光缆造成潜在损害。因此，当光缆出现故障时，快速准确地定位故障点对于恢复通信、保障风电场运行具有重要意义。织纤光缆故障定位技术在风电场的

应用中，通过向光缆中发射特定波长的光脉冲，并捕捉反射回来的光信号，利用高精度的信号处理算法对衰减、散射系数、反射强度光信号特征进行深入分析，能够反映出光缆内部的结构和性能状态。笔者在参与某次故障诊断中，采用了织纤光缆故障定位技术进行故障诊断，具体操作结果见表2所示。通过对比正常光缆与故障光缆的光信号特征，织纤光缆故障定位技术能够精确地识别出故障点的位置。该技术提供的故障点到测试端的精确距离，误差范围一般控制在几米以内，甚至在某些情况下可以达到更高的精度。

表2 织纤光缆故障定位技术测试数据表

序号	测试位置	发射光脉冲波长 (nm)	反射光信号强度 (dBm)	衰减系数 (dB/km)	散射系数 (dB/km·MHz)	故障判断
1	起点	1550	-10	0.2	-95	无故障
2	1km处	1550	-12	0.22	-96	无故障
3	3km处	1550	-20	0.3	-98	轻微衰减增加，需关注
4	5km处	1550	-30	0.5	-100	显著衰减，存在故障点
5	7km处	1550	-15	0.25	-97	无故障，但衰减略增
6	终点	1550	-11	0.21	-95	无故障

4 结语

风电场光纤通信系统运行的过程中，光缆故障位置的确定技术对提高风电场系统的安全以及高效运行起到的作用很大。当前随着信息技术的不断发展，光缆，故障定位技术已经得到了一定的突破。但是对于风电厂日益的增长通信需求来说，在面对更加复杂的工况条件下，光缆故障定位技术还需要进一步的创新研究才能够精确的定位故障的所在点，为故障排除工作奠定基础。

参考文献

[1]郭建军.基于GIS技术的通信光缆故障定位与保障系统分析[J].数字通信世界,2019,(01):44.

[2]石刚,土伟政,雷锡连.通信光缆故障定位中的GIS技术应用[J].电子技术与软件工程,2020,(06):3-4.

[3]余希娟,常仲科,张慧峰,等.电力光缆网多通路OTDR在线监测及故障定位技术分析[J].中国新通信,2021,23(12):38-39.

[4]胡婷婷.光缆故障点智能定位检测技术探析[J].网络安全技术与应用,2021,(08):130-131.

[5]蔡海良,胡凯,李军,等.基于BWO-ELM算法与VR-GIS技术的电力光缆故障诊断及定位研究[J].计算机测量与控制,2022,30(12):98-104+111.