

# 风电场集电线路稳定运行关键技术的研究

方占跃 陈雷 李朋振

(广州发展新能源股份有限公司, 山东 菏泽 274500)

摘要: 集电线路是风电场的重要组成部分之一,起着电能汇集及传输的作用。风力发电机组将风能转化成电能,通过集电线路汇流将电能传输到升压站。集电线路一旦发生故障会使开关跳闸,从而使风力发电机组脱网、电网产生电压波动。不仅对公司安全和经济指标造成严重影响,而且会减少风电机组电气元件的使用寿命。集电线路的安全稳定运行至关重要,关系到风电场风机利用率、发电量,直接影响到公司的经济效益。本文着重讨论风电场集电线路运行中跳闸的原因及整改措施。

关键词: 风电场; 集电线路; 跳闸

随着社会经济的发展,风力发电作为智能电网领域中不可或缺的一部分,其发挥的作用越来越重要。风电场集电线路的稳定运行对整个电力系统至关重要,关系到电力系统的稳定性、风机的利用率、风电场的发电量。风电场的集电线路一旦发生故障就会引起开关动作发生跳闸,从而使风力发电机组脱网、电网产生电压波动、电量损失,进而造成很大的经济损失。因此,通过对风电场集电线路故障引起跳闸的原因进行分析,总结经验并提出优化措施,完善相关制度;这对风电场可靠、经济、稳定地运行十分具有意义。

2021年分公司属下各风电场集电线跳闸次数共计25次,其中,如图1所示A风电场共发生集电线跳闸12次,损失电量52.309万千瓦时,直接经济损失31.3854万元。集电线跳闸不仅对公司的安全及经济指标造成影响,甚至还会减少风电机组电气元件的使用寿命。为了消除各类故障引起的集电线跳闸,提高风电机组的安全运行,减少公司损失,对影响风电场集电线稳定运行因素进行研究。

## 一、集电线路故障分析

据统计,造成风电场集电线路发生故障跳闸的原因有:环境因素导致线路接地放电、电缆头质量、避雷器质量不合格、跌落保险选型与质量问题等。集电线路频繁发生故障而引起的跳闸,对集电线路的安全稳定运行有很大的影响。因此,通过分析集电线路跳闸的原因,采取相应的措施,减少集电线路跳闸是非常有必要的。

首先,线路处于野外环境,附近有地膜、杂草、生活垃圾、建筑垃圾等漂浮物和树枝被强风刮起飞落到线路导线上,会造成线路发生单相接地、相间短路等故障。特别是导电型异物一端掉落在线路导线上,另一端与大地接触,会造成线路短路。不能及时发现并处理这些杂物,严重时有可能造成电网大面积停电,从而影响电力系统的正常运行。

其次,鸟类在集电线的杆塔上构筑鸟巢或在导线、绝缘子上方活动,均可能会造成线路故障。另外,鸟类在横担上降落或起飞时,导线对横担空气间隙沿绝缘子表面放电,引起单相接地故障。

第三,避雷器性能不足也会引起故障,表现形式如下:绝缘子的胶装界面工艺不良、瓷件材质不良会产生零值绝缘子,极容

易被雷击过电压击穿,引起绝缘损坏。在雨季,绝缘子会吸附近的水分,使绝缘子的绝缘性能降低,引发绝缘子闪络击穿或受热膨胀时,导致炸裂,从而使绝缘子丧失绝缘能力。当沿线路传入变电站的雷电冲击波超过避雷器保护水平时,避雷器首先放电,并将雷电流经过导体安全的引入大地,利用接地装置使雷电压幅值限制在被保护设备雷电冲击水平以下,使电气设备受到保护。通过利用避雷器的残压大幅降低雷电过电压造成的闪络,能够在继电保护装置动作以前完成灭弧。因此,安装避雷器的集电线可以大幅度提高集电线路的耐雷水平,避免或减少线路跳闸。避雷器数量不够,不能充分使风电场的电气设备得到保护。遇到雷电天气,产生的雷电过电压会造成闪络,使线路发生故障。雷击过电压将造成绝缘子瓷质部分击穿,引起绝缘损坏。绝缘子室和高压引入室的绝缘部件表面受水汽污染,使风电场无法并网运行或频繁跳闸。当绝缘子室温度不高使吸入的水气不能很快蒸发而凝结或与污染物结合黏附在绝缘子表面时,导致其绝缘下降,就会引起高压绝缘部位产生爬电、放电现象。绝缘子在制造过程中,当瓷件表面和内部都存在制造缺陷时,若发生闪络会使瓷件局部过热而引起损坏。运行一段时间后,绝缘子涂敷的硅脂出现老化导致绝缘子的绝缘能力降低,使其产生漏电和局部放电现象。绝缘子瓷表面釉剂剥落、裙边裂纹、过紧的紧固金具使瓷件受过大的应力、受外力破坏、瓷套和内部设备配合不良都会引起损坏。

第四,人为因素也是不可忽略的因素。由于集电线和风机之间的电缆没有线路标识桩,建筑施工或农民耕种时错将电缆挖断,造成线路故障。外界人员偷盗电缆会使线路断线,从而使负荷侧导线落在地上造成接地无法传输电流,会引起电压不稳定,也会使接地装置发生故障。定期巡视是杜绝电缆事故发生的重要措施之一。对电缆线路定期巡视,可以尽早地发现电缆隐患,及早采取相应措施,把隐患消除在萌芽状态,确保安全稳定运行。此外,工作人员在进行线路检修、设备操作等作业时,都应按照一定程序填写工作票、操作票或按照作业指导书对集电线路的电气设备进行检修工作,并严格按相关要求上的步骤进行操作。因此,工作人员应当始终牢记安全生产,切不可为贪图一时方便而进行无票作业,造成难以挽回的后果。

第五,风机运行参数变动引起的继电保护装置的定值变化。继电保护装置设定定值时,若产生较大误差导致理论与实际之间存在差异,会使装置出现元件老化、损坏等,降低其功能。导致继电保护隐性故障的原因一般为误碰、误整定、误接线等。若电网的潮流出现较大的波动,保护定值也会随之而发生变化。此时的保护定值与经调整后的电网运行存在不符合,电力系统将会频繁地出现运行异常的问题,进而引发继电保护故障,无法确保电能的持续输出。因此,必须要做好继电保护的定值整定工作,以保证电网的安全运行。

第六,输电线路老化引起的故障。由于设备运行时间较长,电缆头容易出现老化现象,导致密封处密封不良。遇到雨雪天气,

雨水从此处进入电缆,导致电缆头绝缘击穿。另外,在电缆头制作过程中,没有严格按照工艺进行制作,导致生产的电缆质量不合格,电缆运行一段时间会导致电缆头发生绝缘击穿现象。变电站主要依靠不同的线路实现运行和电力运输。在长时间的使用中,会受环境等因素的影响使线路出现老化,极易导致变电站发生故障,从而产生跳闸的情况,影响变电站的正常运行。电气设备发生故障会出现过流现象,需通过跳闸来保护线路和设备,一旦出现开关无反应等情况,就可能会造成更大的故障。在检修的过程中,由于检修不规范等原因致使未及时发现并处理故障或者对故障处理不彻底,都会出现开关跳闸。高压开关柜在运行的过程中,因发热引发故障后,不仅会使变电站开关发生跳闸,还会使电路中的电阻增大,导致其短时间内温度骤然升高导致线路产生变形甚至融化等现象,进而影响变电运行质量。

第七,架空线放电接地或短路引起集电线路故障。架空线弧垂是导线相邻两悬挂点间的连线至导线最低点的垂直距离。当架空线路应力过大时,会使架空线路弧垂过大。输电线路导线弧垂过大容易造成相间短路,也会使线路最低点与大地之间的距离不满足安全距离,难以保证架空线安全运行。大风天气时,导线的摇摆度会使得线路的相间距离不能满足安全距离要求,有可能导致线路发生短路故障,影响线路的安全运行。

第八,跌落保险引起集电线路故障,主要两种原因是跌落保险选型错误和松动放电。选择的保险丝外形尺寸不合适或额定电流或电压不符合用电产品的规定,在正常使用时保险丝也会熔断或者电路过载保险丝无法熔断,进而烧坏电路和电气设备。保险丝的分断能力达不到要求,不能在电路过载或者短路的时候及时断开,也会导致电路损坏和电气设备损坏,造成线路故障。跌落保险是线路、变压器的过流和短路的保护、停送电的操作装置,保护电气设备和人身安全的重要元件。跌落保险的上下触头接触面少,所处的户外环境条件恶劣,触头容易氧化产生松动放电,导致接触电阻增大,进而会使触头烧坏。

第九,软环境的不完善是集电线路故障不可忽视的因素,主要表现在巡检制度规范性不足与预防试验制度不完善。巡回检查制度是设备实施检修和制定反事故措施的重要依据,用来规范风电场运行人员巡回检查工作,可以发现风电场电气设备的缺陷,及时消除隐患,防止事故发生,必须严格执行。巡线方法多是工作人员驾驶车辆用望远镜对输电线路进行巡视,负责人对巡视的工作质量难以把控,从而失去对线路运行情况的判断和分析,无法预测线路下阶段运行情况,对整个电网的安全运行存在较大的危险。预防性试验是确保电气设备安全运行的重要手段。工作人员通过电气预防性试验可以在设备投入之前或运行中了解设备的绝缘情况,若发现主要设备的绝缘显著降低或重大绝缘缺陷时,及时处理,防止事故发生,保证电力系统安全运行。

## 二、集电线故障预防措施

### (一) 巡检时,仔细排查集电线

发现集电线附近有漂浮物与树木可能影响输电时,须及时清理,避免集电线因此引起故障。

### (二) 在线路巡视时,要重点巡视杆塔

仔细观察杆塔上的防鸟刺是否正常,若有异常尽快将防鸟刺补充或更换。受鸟害严重的集电线路建议将防鸟刺更换为风力反光驱鸟器。

(三) 严格执行电缆头制作工艺,提高连接处的密封与绝缘,防止水气、潮气的浸入,避免相间短路

在线路巡视时,发现电缆下沉、鼓包、外皮破损、电缆头接地线松动的情况应及时处理,防止发生事故。电缆故障修理完成后必须做耐压实验,实验合格后方可投入运行。

### (四) 采用架设耦合地线

架设耦合地线是架空线路防雷的基本措施,主要作用就是防止直击导线。雷击杆塔时通过避雷线的分流作用降低塔顶电位,通过其与导线的耦合作用降低绝缘子上的电压,通过避雷线对导线的屏蔽作用降低导线上的感应过电压,通过调整避雷线保护角可以在一定程度上减少绕击。

### (五) 降低杆塔的接地电阻

杆塔接地网接地电阻亦 $\leq 4\Omega$ ,低于规范对一般线路杆塔的接地电阻值,从而杆塔的耐雷水平得以大幅提升。在一定程度上降低绝缘发生闪络的情况,降低反击电压及反击的可能性。

(六) 集电线路杆塔上适度增设避雷器,并选用合适的参数、保证避雷器的产品质量,加强日常维护。

### (七) 采用防风型跌落保险

跌落保险选材一般熔管上触头选用圆弧形铜铸件,易于操作,上静触头选用弹性较好、导电良好,不易变形的合金材质。在线路巡视时,在操作跌落保险后一定要检查是否分合到位,按系统短路电流整定值配置合适的跌落保险熔丝。若发现跌落保险分合处有变形、放电、氧化的痕迹时,一定要及时更换新的跌落保险。本项目将风电场原有普通型跌落保险更改为专利防风型跌落保险,减少了因跌落保险损坏导致的集电线跳闸及风机停机。

### (八) 安装故障诊断装置

故障诊断装置具有架空输电线路绝缘缺陷和隐患放电预警、故障精确定位的功能。人工智能分布式线路故障诊断系统应用于35kV—110kV电压等级架空线路,通过在架空输电线路导线上安装分布式线路故障监测装置,采集并分析故障时刻行波信号,实现输电线路故障快速定位。对于输电线路异常状态引起的放电信号可实时监测、预警分析和定位,从而实现故障抢修转变为状态检修。

## 三、总结

通过对某风场的35kV集电线路跳闸的故障数据与影响因素的分析,从而查找线路开关跳闸的原因,提出并验证预防措施,在集电线路安装故障诊断装置能够及时发现故障,提供故障定位信息,确保工作人员在第一时间进行抢修,减少了经济损失。通过实践证实,这些措施能够有效降低集电线路的跳闸频率。在“双碳”的大背景下,风力发电将成为引领我国产业低碳化发展的主力军,加强对影响风电场集电线稳定运行因素进行研究具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 李姚伟. 某风场35kV集电线路开关故障跳闸原因分析及处理[J]. 电力系统装备, 2022(2): 66-68.
- [2] 吴益航. 风电场35kV集电线路雷击原因分析及优化措施[J]. 现代商贸工业, 2019, 40(02): 188.
- [3] 戴勇干. 风电场集电线路防雷措施分析[J]. 西北水电, 2021(03): 109-112.

作者简介: 方占跃(1984-),男,研究方向: 新能源智能运维。