

风电场集电线路故障定位系统研究及应用

刘春雷

河北大唐国际新能源有限公司 河北 承德 067000

[摘要]随着风力发电行业的快速发展,架空集电线路凭借着造价低廉的优势大范围得到应用,但是受风资源丰富的影响,架空集电线路的故障频发,已经成为影响风力发电运行可靠性的一大突出问题,风电场集电线路故障定位技术的研究有着广阔的应用前景。本文提出了一种分布式故障录波思想的新型集电线路故障定位方法,适用于风电场含有多个T接节点的集电线路,并根据此方法设计制作了一套集电线路故障定位系统,在河北张家口某风电场安装试运,取得了较好的效果。

[关键词]风力发电;故障定位;架空线路;T接;分布式;故障录波

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.12.510

0 引言

风力发电往往分布在山区地带,环境复杂多变,集电线路长而分散、路径艰险、故障多发。由于集电线路为多台风机单独或成组T接汇集的单端树形结构,现场的线路参数不均匀,当集电线路保护动作跳闸后,故障录波器中设置的线路参数与现场不能完全相符,故障测距功能基本无效。当线路发生故障后通常是人工巡线查找故障点,存在一定的安全风险,并且部分隐性故障点在地面观察难以发现,只能靠逐基铁塔检查才能排除故障点,每次故障都对全部线路爬塔检查耗时长、难度大、费用高、停电损失大。当经过一轮现场所有铁塔和线路检查仍不能发现故障点时,大多数情况下只能试送线路临时运行,等待下一次故障发生时再查找。这种运维方式对线路和发电设备的安全、可靠运行形成了较大的隐患,需要探索更加精准高效的故障定位方法。

1 电力线路故障定位技术概述

传统的电力线路故障定位技术主要包括阻抗测距、行波测距、综合故障分析等,现分别介绍如下:

阻抗测距:由于线路的阻抗跟线路长度成正比,根据故障时测量到的电压、电流即可计算出故障回路的阻抗,因此在已知线路参数的条件下即可求出电压、电流测量点到故障点的线路长度,从而得出故障点至保护安装处的距离。

行波测距:输电线路发生故障时,故障点处将会产生向线路两端传播的故障暂态电压、电流行波,通过检测故障行波的波头到达时刻,再根据行波的反射原理,结合行波的传播速度就可以实现故障点的位置推算。

综合故障分析:在线路参数已知和系统运行方式确定的情况下,输电线路发生故障时,故障检测装置安装处的电流、电压是故障距离的函数,因此,通过分析计算故障时,检测装置记录下的输电线路的电流、电压数据,根据事先建立的网络模型,即可求出故障距离。

以上传统的电力线路故障定位方法中阻抗测距和行波测距方法是面向点对点输电线路的故障定位,对于风电场集电线路布置分散、T接结构较多的情况,由于线路参数分布不均匀且没有确定的函数关系,该方法难以在风电集电线路中发挥作用;综合故障分析方法对线路基础参数依赖较高,风电机组处于发电和故障停机时对线路模型影响较大,也不适用于风电集电线路的故障定位,因此传统的输电线路故障定位方法不能直接应用到风电场集电线路的故障定位中,探索和应用含有T接结构的集电线路故障定位方法有着较大的实际意义。

2 风电场集电线路故障定位系统总体架构

根据传统的电力线路故障定位技术思想,分析几种定位

技术的优势和在风电集电线路故障定位中表现出的弊端。经过不断改良优化,形成一种基于分布式故障录波思想的新型风电场集电线路故障定位技术,在集电线路的T接节点各侧布置分相无线故障录波装置,再经过现有的风机监控通信光缆组网,将故障信息实时集中到数据中心,所有数据经过主站的系统分析后,根据故障时刻分布式故障录波相位情况即可判断故障点的范围,给维护人员推送分析结果,大大提高了故障发现效率和抢修速度,缩短停电时间。

基于现场条件,故障定位系统的设计采取多条件启动、分散采集、分段传输、集中分析的模式,故障定位系统的硬件分为采集终端、通信基站、综合采集终端、数据中心4部分。

采集终端提供无线故障录波功能,安装于架空线路之上,采用集电线路无线自取电,同时配置超级电容和后备电池作为备用供电方式,每个采集点安装A、B、C三个装置,装置通过无线方式与就近布置的通信基站连接。

通信基站安装于风机塔筒内部,通信基站通过无线方式与附近的多个采集终端进行数据交换,并通过现有的风机监控通信环网光缆备用芯组网,将收集到的故障录波数据传送到数据中心,实现采集终端和数据中心之间的数据和指令交互。

综合采集终端安装于升压站35kV母线PT柜,将母线电压信息和集电线路故障跳闸的信号采集到数据中心,用于记录跳闸时刻和启动分布式录波动作。

数据中心安装在升压站控制室内,负责自动分析数据,还原故障发展过程,通过集中分析故障时刻各分布式故障录波的相位情况判断故障位置,指导检修人员快速定位故障。

3 故障定位系统工作原理

发生故障时,集电线路上所有数据采集终端同时进行录波,并通过通信基站将录波数据传送到数据中心,有数据中心对录波数据进行分析。通过分相差动方法判断故障位置。其判断依据为:

$$\begin{cases} |I_{cd}| > I_{dz}, & \text{故障点在判断区内} \\ |I_{cd}| < I_{dz}, & \text{故障点在判断区外} \end{cases} \quad (1)$$

其中: $|I_{cd}| = |I_k + I_{k+1} + I_{k+2}|$, I_k 、 I_{k+1} 、 I_{k+2} 为第k个铁塔相关分支各侧的数据采集终端采集的电流; I_{dz} 为故障电流整定定值。

单相接地故障:

当系统中只有主线上k1点单相接地故障时有 $|I1a + I2a + I3a| > I_{dz}$, 且 $I3a$ 、 $I5a$ 、 $I7a$ 幅值明显大于 $I1a$

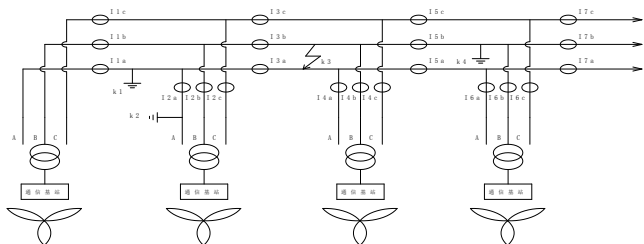


图1 故障定位原理图

、 I_{2a} 、 I_{4a} 、 I_{6a} 等不能提供故障电流的分支；当系统中只有分支线上k2点单相接地故障时有 $|I_{1a} + I_{2a} + I_{3a}| < I_{\Delta}$ ，且 I_{2a} 的幅值与 I_{3a} 、 I_{5a} 、 I_{7a} 幅值相当，明显大于 I_{1a} 、 I_{4a} 、 I_{6a} 等不能提供故障电流的分支。因此可以准确确定故障位置。

相间短路故障：

当系统中只有主线上k3点A相与B相发生相间故障时，有 $|I_{3a} + I_{4a} + I_{5a}| > I_{\Delta}$ 和 $|I_{5b} + I_{6b} + I_{7b}| > I_{\Delta}$ ，且 I_{3a} 与 I_{5a} 和 I_{7a} 幅值相当、 I_{3b} 与 I_{5b} 和 I_{7b} 幅值相当，因此可以准确确定故障位置。

转换性故障：

当系统中主线k1点A相接地发展成同时k4点B相接地，构成AB相间短路故障时，有 $|I_{1a} + I_{2a} + I_{3a}| > I_{\Delta}$ 和 $|I_{1a} + I_{2a} + I_{3a}| > I_{\Delta}$ ，且 I_{3a} 与 I_{5a} 和 I_{7a} 幅值相当、 I_{1b} 与 I_{3b} 和 I_{5b} 幅值相当，因此可以准确确定故障位置。

4 在现场中的应用

4.1 风电场设备情况及运行方式

该故障定位系统制作完成后，在河北省张家口市某风电场安装试运，风电场装机容量100MW，共6条35kV风机汇集线。风电场35kV集电线路长度从几公里到30多公里不等，经过现场风机—箱变单元升压至35kV后单独或成组T接至风机汇集线，汇集站35kV母线经小电阻接地方式运行，35kV集电线路配置有过流保护和零序保护。

4.2 故障定位系统部署原则

选取2条35kV集电线路部署该故障定位系统，线路有同塔双回架空线长度6392米、单回架空线长度3966米、有3个T接分支节点、共46基铁塔。在主线上间隔2至5基铁塔布置安装无线采集终端，在T接分支节点的各侧均布置无线采集终端，所有无线采集终端的正方向统一选取指向汇集站方向为正，在安装采集终端就近的风机内部署无线通信基站，通过风机监控通信光缆备用芯组网，与汇集站内部署的数据中心搭建独立通信网络，完成分布式录波数据采集和调试。

4.3 故障定位系统工作原理

故障定位系统运行中可分为正常运行、发生故障、启动录波、数据传输、数据分析和故障指示共6个流程节点，每个节点的启动方式工作流程如下所示。

正常运行：整套系统投入运行后即进入正常运行节点，在该环节中采集终端和综合采集终端分别采集集电线路电流和35kV母线电压及跳闸接点信号，并实时传回数据中心。

发生故障：当系统采集到的数据发生突变时，将会启动发生故障逻辑判断，采集终端传回的电流发生突变或是线路所在母线电压发生突变，都将启动发生故障动作进入故障录波环节。

启动录波：当系统判断所在线路发生故障时，会通过现

有的通信通道向所有现场的采集终端同时发送启动电流量录波信号，同时在综合采集终端启动电压量录波信号，录波数据分别在各自的装置内暂存。

数据传输：采集终端在完成录波后，通过无线网络与就近的通信基站建立数据传通连接，将电流录波数据上传到数据中心，综合采集终端与主站通过光纤通信将电压和跳闸信号录波数据上传到数据中心。

数据分析：数据中心将一次启动收集到的电流、电压和跳闸信号录波数据整合处理、对齐时标，判断故障发电时的电流波形相位，找到相位差在180度左右的分界点，经过拓扑结构分析，确定本次故障的采集终端区段。

故障指示：数据中心将现场电量采集终端的布置情况进行拓扑展示，并在故障跳闸后将数据分析的结果，以及推荐的故障发生区段在拓扑展示画面上突出显示，指导现场组织故障点查找和处理。

4.4 故障定位试运情况

现场安装后发生过2次集电线路故障跳闸事件，该系统均成功传回故障录波数据，且在数据中心完成了数据汇总分析。2次跳闸均为单相接地故障，根据分布式故障录波数据分析，在故障点的汇集站侧故障相电流相位一致、幅值较大，故障相电流在故障点的线路侧与汇集站侧相位相反、幅值相差较大，通过数据分析可靠锁定故障点范围，根据故障定位系统分析推荐的位置快速找到了故障点，均在当天完成了故障处理，比全线查找故障点节省了大量的人力投入，大幅缩短了集电线路停运时间。

5 结束语

在传统故障定位方法不适用于风电集电线路多T接支路特点的情况下，本文提出的分布式故障录波思想的定位系统，将所有T接节点各侧均布置录波采集终端，并在直线段间隔布置录波采集终端，整合所有观测点信息，站在全局视角进行系统分析，其定位精度仅受限于录波采集终端的安装密度，在风电场现场成功试运，故障点的录波数据区分度好，定位可靠。该方法在现场的成功试运不仅实现了风电场集电线路故障后快速定位故障点，还实现了线路短时故障的预警，当线路上的故障点发生初期，在故障时间未达到继电保护定值前即恢复的情况，系统仍能快速启动并预警故障点，可以指导线路维护人员提前到故障点处重点巡检，提前发现并处理故障隐患，防止集电线路非计划停运。本文提出的新方法为探索风电集电线路以及T接电力线路故障定位方法提供了新的思路。

参考文献

[1] 杨新华, 刘国栋, 郭汝明等. 光电技术在指示仪表自动化测量中的应用[J]. 电测与仪表, 2004, (8): 23-24
 [2] 张大立. 配电故障指示器的应用与发展[J]. 电气应用, 2016, 27(5): 53-55.
 [3] 王玉锁, 吴晓敏, 田嘉怡. 配电箱故障及其检测技术发展概述[J]. 科技创新导报, 2018(6).
 [4] 徐俊明. 高压输电线路故障定位方法研究[D]. 三峡大学, 2012.

作者简介：

刘春雷(1983)，男，工程师，从事新能源发电运行维护和设备管理工作。