

架空输电线路隐患在线监测方案研究

陈梓枫

(广东电网有限责任公司广州供电局)

摘要: 随着行波法故障测距稳定性以及成熟性的不断提升,故障时刻行波信号中包含的其他信息正被逐步挖掘。本文从行波法故障测距角度出发,利用行波故障测距原理开发了一套架空输电线路隐患监测系统,介绍了该系统主要组织架构以及关键的测量技术,结合宽频带传感器以及隐患预警系统算法,判定输电线路中是否存在隐患放电情况。该系统基本可实现架空输电线路的隐患预警,从而辅助输电线路现场运维人员进行故障排查,减小输电线路因隐患发展成故障跳闸而带来的电能损失。

关键词: 行波;宽频带传感器;隐患放电;隐患预警算法

0 引言

近年来,随着我国人口的不断高度化集中,人类生活、学习对于电力系统的稳定性要求越来越高,因此,我国对于电力系统的安全生产有着严格要求。伴随着人口、重要基础设施的发展与集中,我国的输电线路结构正逐步发生变化,由传统的单一架空线路结构演变为电缆混架、线路多T型连接的结构。在该结构下,无论对于线路的故障点精确定位还是故障处理都存在着极大的困难,而输电线路的故障一部分是由线路隐患发展而来,其隐患的主要类型为树木超高、绝缘子污秽,这些隐患故障往往存在于线路中,尽早发现有助于减少线路故障跳闸的发生概率。针对于架空输电线路的隐患检测方法,相关学者做了大量研究,用于实现输电线路隐患的早日排查^[1-3]。

一方面,一些学者从图像处理的角度出发,监测输电线路导线走廊中是否存在异物的情况,该方法由视频图像监测装置进行主动抓拍,然后利用后台智能算法进行隐患预警,该方法可实现树木超高以及异物超高的预警,但图像监测装置可监测的范围有限,基本无法实现输电线路的全线监测,仅能针对隐患易发区域进行选择性地安装^[4]。另一方面,一部分学者通过研究绝缘子污秽与泄漏电流之间的关系来进行输电线路的隐患预警,通过建立仿真模型,利用改进的电场仪检测绝缘子附近的电场变化,从而进行绝缘子隐患放电的预警,但该方法为离线式故障检测方法,无法实时监测线路运行状况^[5]。

鉴于上述隐患监测系统方案中存在的问题,本文介绍了一种在线式架空输电线路隐患故障监测方法,结合现场监测装置以及后台隐患系统算法,基于行波特性,该系统基本可实现在线式隐患预警监测,从而减小输电线路因隐患放电造成的线路故障跳闸。

1 架空输电线路主要隐患类型

架空输电线路在长期的运行过程中受到恶劣的自然天气、环境因素的影响,线路极易出现故障跳闸的情况,通过现有的行波法故障测距,基本能够实现稳定的故障点定位以及故障排查。输电线路在长期的运行过程中,可能存在线路本体或者其它因素导致的线路绝缘缺陷的情况,一般架空输电线路的主要隐患分为如下几个类型:(1)由于架空输电线路运行过程中周围树木长期生长导致树木超高,而树木生长的过程中,由于风力的影响导致输电线路发生隐患放电的情况;(2)输电线路在运行过程中难免受到雷击等自然现象的影响,尤其是电流幅值较小的雷或者输电线路附近的雷,导致线路的绝缘子出现绝缘缺陷而不会导致线路发生故障跳闸,在长期满负荷、高强度运行的情况下可能出现绝缘缺陷的情况,从而影响输电线路的稳定运行;(3)输电线路在长期运行的过程中,其绝缘子表面受到污秽的积累以及鸟粪的影响容易出现沿面放电的情况,常年累月导致输电线路发生故障跳闸,而绝缘子表面的污秽以及鸟粪的堆积通过人工巡线一般难以被排查和识别,因此须通过科学有效手段进行架空输电线路的隐患识别以及预警^[6]。

本文在进行架空输电线路隐患预警时,首先建立了仿真模型,仿真了上述三类常见的隐患放电行波特征,对于其放电特征做出归纳,架空输电线路主要隐患放电类型以及放电特征如图1所示。

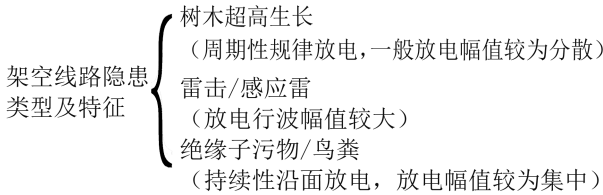


图1 主要放电类型及放电特征

2 隐患在线监测方案系统

2.1 系统主要架构

架空输电线路隐患监测系统的主要构成为现场监测终端，现场监测终端安装于输电线路架空导线上，负责采集架空输电线路中的放电数据，监测装置采集了数据后通过无线通讯的方式将数据传输给远端服务器，远端服务器对终端采集的数据进行系统分析，并进行理论计算，当系统中出现多次隐患放电点时进行主动预警，同时将故障数据推送至指定的手机端以及用于数据展示的网络客户端，其系统主要构成如图2所示。

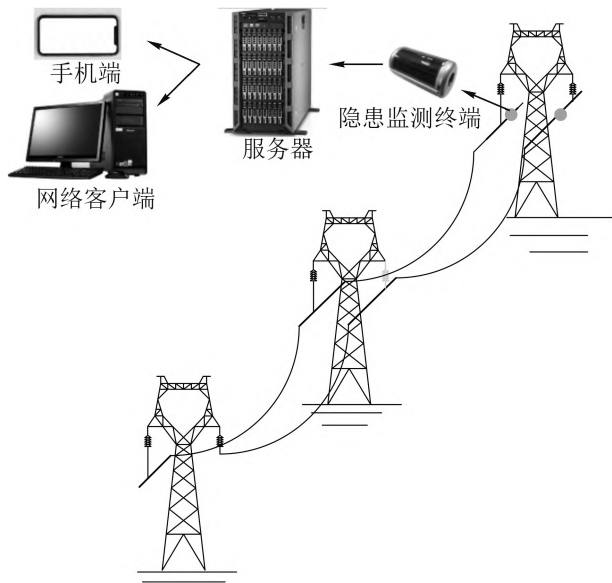


图2 架空输电线路隐患预警系统主要构成

2.2 监测终端

架空输电线路隐患监测终端安装于输电线路导线上，负责采集输电线路中的放电信号，由于隐患放电一般呈现宽频带，同时需要排除输电线路强电磁环境的干扰，因此对传感器的采集、屏蔽和后续的处理电路都需要做特殊处理，监测装置采用输电线路高电位耦合供电加耦合供电的行波保证系统来进行稳定供电，由于监测终端常年暴露于恶劣的自然环境中，应采用防护等级较高的材质进行设计，架空输电线路隐患监测终端实物图如图3所示。



图3 架空输电线路隐患监测终端实物图

2.3 通讯主站及通讯方式

架空输电线路隐患监测系统主站用于接收高压导

线上监测终端上传的数据，对数据进行处理、解析、分析、计算，对于存在的隐患放电情况进行双端行波法故障精确定位。无论是判定出系统中存在隐患放电点，还是经过多次计算判定输电线路架空导线上存在隐患放电点，都会进行主动预警，同时将预警信息传输至指定区域。

无论是监测终端与服务器之间进行数据交互，还是网络展示端与服务器进行数据交互，该系统均采用无线通讯（GPRS/APN）形式传输，从而实现了架空输电线路的全方位监测。

3 隐患监测主要技术

由于高压输电线路存在的强电磁干扰环境，这给架空输电线路隐患监测系统的数据采集、分析带来了极大的困难，因此该系统的传感器采集以及屏蔽技术显得尤为重要，同时，该监测装置处于高电位导线上，无法同时以市电去能的方式进行监测装置的供电，因此监测装置的耦合取能以及取能保护电路成为了重点考虑对象^[7]。

3.1 取能及保护电路技术

架空输电线路监测装置安装于高电位架空导线上，该监测装置采用耦合供电及太阳能取能双重供电方式来满足监测装置的取能需求，耦合取能和太阳能取能双重取能方式相互配合以保证监测终端的稳定供电。耦合取能的大致流程为经过传感器取能、保护回路、整流、保护回路、DC转DC给监测终端供电；太阳能取能为MPPT充电电路、充电选择切换控制电路、电源切换控制电路、DC转DC从而给监测终端供电。监测终端取能流程示意图如图4所示。

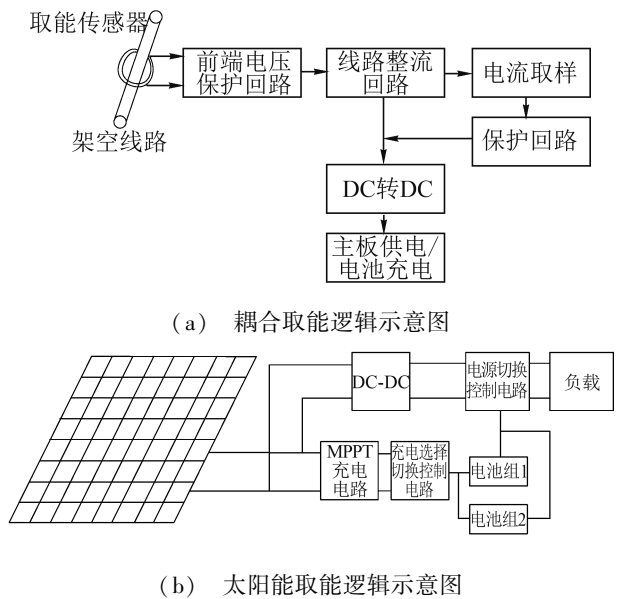


图4 监测终端取能流程

架空输电线路隐患监测装置采用耦合供电配合太阳能取能的方式进行监测主板的供电,内部电池组均为工业级磷酸铁锂电池。监测终端采用低功耗设计,在输电线路负载极低的情况下可采用太阳能耦合取能的形式进行供电,用于保证监测终端的稳定供电,减小系统中出现漏报的情况。

3.2 宽频带电流测量技术

由于监测终端采集的信号为架空输电线路中隐患放电信号,而隐患放电信号无论是工频信号还是行波信号都不同于常规的输电线路信号。就工频信号而言,常规的工频信号一般采样率较低,仅需判定输电线路中是否发生故障跳闸即可,而隐患放电信号难以捕捉,一方面隐患放电信号频率较高,另一方面隐患放电信号幅值较小,需要对采集传感器做屏蔽处理。为保证监测信号的采集以及还原,采用带屏蔽线圈的罗氏线圈传感器进行架空输电线路的信号采集,传感器放大示意图如图5所示。

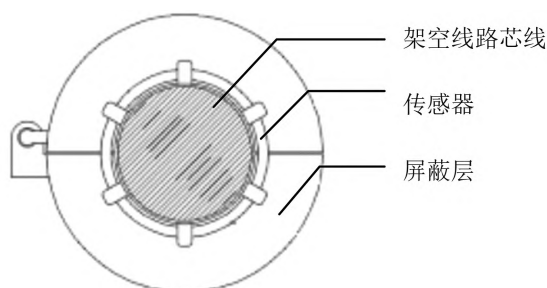


图5 罗氏线圈示意图

根据图5可知,监测传感器位于架空导线上,罗氏线圈采用自积分回路形式输出,影响其输出的因素相对较少,其输入输出特性近似满足于:

$$e(t) = -M \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

式中, $e(t)$ 为输出电压; M 为罗氏线圈与架空输电线路截导体间的互感系数; $i(t)$ 为输电线路负荷电流。

由上式可知,罗氏线圈输出电压与负荷电流为微分关系。在罗氏线圈传感器选定并安装完毕后,其 M 基本为常数,输出特性基本只与输电线路相关,与其它参数基本无关,传感器外边缘采用铜箔外壳设计,用于保证采集的隐患放电信号的精确性。罗氏线圈具有良好的宽频带响应特性,其频带为几十千赫到100MHz,而常规的输电线路隐患放电信号频带一般在几百千赫,其传感特性可以满足所有的输电线路隐患放电信号的采集以及还原。

4 隐患监测及预警原理

架空输电线路受到树木超高、鸟害、绝缘子污秽

等各类情况的影响,线路极易发生隐患放电,当系统中存在隐患放电点时,科学有效地判定以及处理隐患放电点,有助于减小架空输电线路故障跳闸率,架空输电线路隐患监测系统预警算法及流程如图6所示。

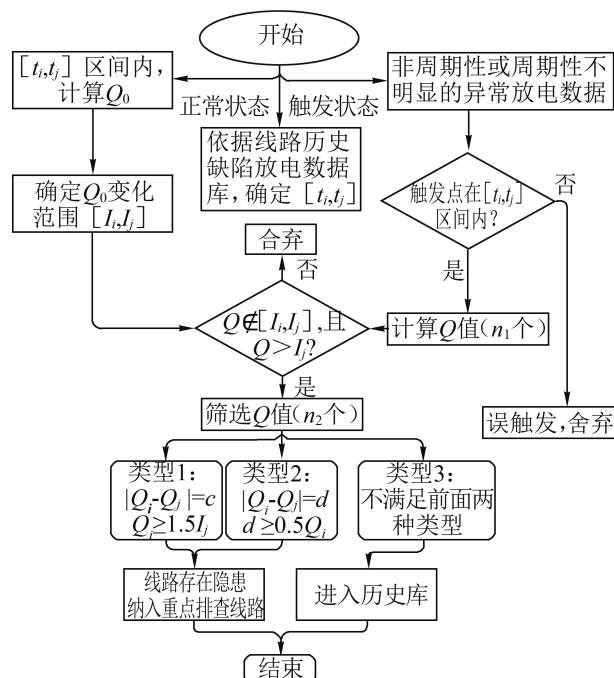


图6 架空输电线路隐患预警流程

首先选取了监测终端采集的工频波形的时长, t_i 为工频起始时刻, t_j 为工频结束时刻, Q_0 为隐患放电基准值, I_i 为隐患放电最小电流值, I_j 为隐患放电最大电流值, n_1 为区间内放电个数, n_2 为大于最大放电电流幅值 I_j 的个数,若放电电流与放电次数满足如下关系时,即可判定线路中存在隐患放电情况。

①在1~ n 个 Q 值中任取两个数,记为 Q_i 和 Q_j ,若 Q 值与 I_j 值相差较大且满足公式(2)的关系,即可判断线路存在隐患放电情况。

$$\begin{cases} |Q_i - Q_j| = c \\ Q \geq 1.5 I_j \end{cases} \quad (2)$$

其中, $0 \leq c \leq 0.1 \max(Q_i, Q_j)$ 。

②在1~ l 和 $m \sim n$ 个 Q 值中,各取两个数,记为 Q_i 和 Q_j , $1 \leq l < m \leq n$,若存在多个连续的 Q_i 和 Q_j 满足公式(3)的关系,即可判断线路存在隐患。

$$Q_i - Q_j = d \quad (3)$$

其中, $d \geq 0.5 Q_i$ 。

架空线路满足上述两种不同的放电情况都判定为线路存在隐患放电,再通过上述双端行波定位的原理即可实现故障点精确定位。

(下转第52页)

系, 相应公式具体如下:

$$C = B \log_2 \left(1 - \frac{S}{N} \right) \quad (3)$$

公式中, B 为信道带宽, S 为信号平均功率, N 为噪声功率谱密度, C 为信道容量。UWB 带宽范围在 500MHz ~ 7.5GHz 范围内, 其信号数据传输速率较快, 系统结构简单, 能耗较低, 分辨率较高, 具有较为精确的定位效果, 可用于解决变电站内智能巡检机器人的定位与跟随移动问题。以 UWB 技术为前提设计智能巡检机器人多目标识别系统, 在完成对单个目标识别的同时, 还能进行多目标识别, 采用便签和基站的通信地址进行识别, 在 IEEE 802.15.4 协议下完成多种噪声环境下的数据可靠传输。

基于 UWB 的变电站智能巡检机器人多目标识别系统中, 机器人跟随的目标会携带移动标签, 同时机器人的身上也会安装固定基站, 系统提前存储标签地址信息和基站地址信息。标签开始工作后, 系统发送广播信号, 信号将会涵盖所有基站地址信息, 基站接收信号之后, 将会精准的分析数据包内的信息, 科学判断数据包当中是否存在自身地址信息, 如果存在, 就会和标签之间建立连接, 完成对目标的有效识别。为尽可能的防止多标签在分配的过程中出现通信冲突, 智能巡检机器人的基站和标签在匹配之后, UWB 的目标识别功能也会因此而完成^[5]。在本次多目标识别系统实现中, 机器人可根据系统设定的行动轨迹路线对 UWB 多目标的状态展开识别, 可满足不

同环境下的数据采集与快速响应的要求。

3 结束语

总而言之, 变电站运行过程中应用智能巡检机器人, 不仅可以提高巡检工作效率, 还能降低变电站的人力成本, 保障巡检质量。科学采用红外相机多目标识别方法和 UWB 多目标识别方法, 明确巡检机器人导航定位技术、检测识别技术、图像识别技术操作要点, 完成对变电站内多目标的有效识别, 提高机器人工作效率。

参考文献

- [1] 连兴文, 朱旭东, 陈云海, 等. 基于改进 A* 算法的变电站智能巡检机器人路径优化方法研究 [J]. 电子设计工程, 2023, 31 (18): 95-99.
- [2] 刘乐. 智能巡检机器人在变电站运维管理中的应用 [J]. 农村电气化, 2022 (9): 33-35 + 38.
- [3] 杨杰, 杨曦, 陈行晓, 等. 变电站智能巡检机器人巡视路线优化 [J]. 农村电气化, 2022 (9): 36-38.
- [4] 高国丽. 变电站智能巡检机器人控制系统的设计 [J]. 电子技术, 2022, 51 (8): 180-181.
- [5] 孙前程, 陈慧蓉, 方忠. 融合视觉的室外变电站智能巡检机器人研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022 (2): 147-150.

(收稿日期:2023-09-25)

(上接第 48 页)

5 结束语

宽频带传感装置以及电源取能保护系统成为监测终端稳定运行的关键, 架空输电线路隐患监测系统通过上述监测终端以及隐患监测算法, 基本能够实现线路的隐患预警, 该系统有助于辅助运维人员早日进行输电线路隐患排查, 从而减少输电线路发生故障跳闸的概率。

参考文献

- [1] 王利平, 王晓茹, 王伟, 等. 输电线路故障测距实用算法研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (16): 52-58.
- [2] 杨忠, 周鑫, 牛海清. 电力电缆故障定位技术综述 [J]. 电气应用, 2008, 27 (21): 86-90.

- [3] 许东升, 田凤兰, 赵珩, 等. 电力电缆故障现场测距方法的研究与应用 [J]. 高压电器, 2009, 45 (5): 136-140.
- [4] 赵雪骞, 任志刚, 郭鑫宇, 等. 35kV 交联电缆振荡过电压击穿故障分析及抑制措施 [J]. 高压电器, 2015, 51 (5): 162-168.
- [5] 何军娜, 陈剑云, 艾颖梅, 等. 电力系统行波测距方法及其发展 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (24): 148-154.
- [6] 张广斌, 束洪春, 于继来, 等. 不依赖双侧时钟同步的输电线双端行波测距 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (20): 199-209.
- [7] 梁恒娜. 基于 Hilbert-Huang 变换的电力电缆故障测距研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2013.

(收稿日期:2023-07-27)