

# 行波测距装置应用分析及优化措施

张书华 王 廷 何林海 (中油(新疆)石油工程有限公司设计分公司, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:** 本文从某压气站 35kV 变电站站端行波测距装置现场应用情况入手, 通过对单端行波测距法和双端行波测距法技术原理、优缺点的对比、分析, 提出优化改进措施, 以便于行波测距技术更好地服务于输气管道外电路的故障定位。

**关键词:** 站端行波测距; 单端行波测距; 双端行波测距

## 0 引言

国内某输气管道公司在其所辖压气站 35kV 变电站内试点安装行波测距柜, 接入变电站的两回 35kV 电源进线电压、电流信号, 目的是在站场外部供电线路发生故障时, 行波测距柜能够判断出架空线路上故障点的位置, 便于运维人员及时、准确地到达故障点附近进行处理, 尽快恢复供电。

## 1 行波测距装置简介

行波测距柜内装设行波测距装置及显示器各 1 台, 行波测距装置是行波测距和故障录波一体化装置。按常规技术, 故障录波装置和行波定位装置是单独使用的, 故障录波装置可以有效记录故障发生时的电压、电流、保护开关动作等信息, 并利用稳态量分析定位金属性故障点位置, 但是无法定位高阻性故障点, 也难以定位混合线路故障点; 传统行波测距装置采集故障发生时产生的高频暂态行波信号, 利用行波信号定位高阻故障和混合线路故障点, 但是由于没有采集稳态信号的电压和电流量, 因此难以确定故障的类型和故障线路, 需要依靠保护或录波装置数据综合分析。该设备是将行波测距和故障录波装置一体化, 记录变电站内的电压、电流的高速行波信号、暂态故障记录、稳态数据记录、数字开关量信号, 发生故障时将所有信号综合分析处理, 以得出最高精度的故障位置信息。

## 2 装置现场应用情况分析

### 2.1 故障报告分析

在现场调阅装置故障报告, 并结合从现场电气运行人员了解到的情况来看, 当外电路(包括上级电源点)发生故障或者电压波动时, 行波测距装置均能够形成故障信息报文。

如果是压气站上级电源点发生故障或者电压波动的情况下, 行波测距装置会显示“区内无故障或区外故障”。据装置记录的故障信息, 某日 14:20 到 14:47, 由于上级电源因素造成 35kV 电源一线电压处于波动状态, 装置启动, 连续显示“区内无故障或区外故障”, 说明装置本身还是很灵敏。

如果是压气站外电路发生故障或者电压波动的情况下, 行波测距装置会显示故障类型。据装置记录的故障信息, 某日 10:16、10:17 装置连续启动两次, 并显示:

故障线路为“35kV 电源一线电流”, 故障类型为“AB C”, 故障距离分别为 595m、569m, 属于瞬时性故障几率较大。

另外, 压气站外电路的确发生了故障, 行波测距装置也启动了录波, 记录到了故障波形, 但是装置上显示是区外故障。据装置记录的故障信息, 某日 17:20 装置启动, 并显示为“区外故障”, 但从装置记录的故障波形来看, 35kV 电源二线电压 A 相减小, 疑似发生单相接地故障。

### 2.2 应用情况分析

从现场实际应用情况来看, 当外电路(包括上级电源点)发生故障或者电压波动时, 已安装的行波测距装置均能够形成故障信息报文, 并记录故障波形。当上级电源点发生故障或者电压波动的情况下, 站场电气运行人员可以根据装置报文来判别是属于线路故障还是上级电源点的故障。当站场外电路故障时, 行波测距柜基本能够报送线路故障发生点, 便于现场运行人员及时通知外电运维人员到达故障点附近, 尽快排查故障原因。

对于某些特殊情况, 当站场外电路故障时, 装置能够正确启动, 但却无法判别是线路何处故障还是上级电源点的故障。由于压气站外电路对端供电端未装设行波测距装置, 压气站内装置处于单端运行状态, 无法确认线路故障点, 此外装置安装在受电端, 事故原因需结合供电端录波波形综合进行判断。

## 3 行波测距技术对比、分析

### 3.1 线路故障测距技术简介

故障测距的任务就是当线路的某一点发生故障时, 通过线路两端的实测电流、电压及线路阻抗等参数计算出故障距离。输电线故障测距方法主要有两种: 一类是阻抗法, 是直接计算故障阻抗或其百分比的算法, 另一类是行波法, 是利用高频故障暂态电流、电压的行波等来间接判定故障点的距离。现有的故障录波器及保护装置上的测距方法都是基于阻抗法, 由于原理上的缺陷, 过渡电阻、系统阻抗、负荷电流等因素都会对测距精度产生影响。国家标准虽然对故障录波器的测距精度要求为 3%, 但在高阻接地等故障情况下, 一般录波器和保护装置的该项指标很难达到。而且故障录波安装在受电

端不能测距。行波法是在输电线路发生故障时，将会产生向线路两端以接近光速传播的电流和电压行波，利用故障发生时产生的初始行波与该行波在故障点的反射波到达测量装置的时间差来进行故障测距。行波法不受故障类型和过渡电阻的影响，在理论上有其优越性，因此相比阻抗法，行波法的故障测距精度要高。

### 3.2 行波测距技术对比

目前，国内行波测距技术和产品主要有站端和分布式两种。该压气站内安装的行波测距装置属于站端行波测距装置，以下主要围绕站端行波测距技术进行分析。站端行波测距安装在变电站内，分为单端和双端两种应用方式，是按照线路两端变电站都装设行波测距装置还是只在一端装设行波测距装置来进行分类。

#### 3.2.1 单端行波测距法

原理：利用故障点产生的行波传输到测量点（测量行波第一次到达时刻），然后由测量点母线反射的行波传向故障点，又在故障点发生反射，重新传向测量点（测量行波第二次到达时刻），根据测量点到故障点往返一次的时间和行波波速可确定故障点距离。如图 1，这种定位装置比较简单，只在线路一端装设，不要求和线路对端进行通信联系。基本上不受过渡电阻的影响，理论上可以达到较高的定位精度。单端定位的困难在于反射波头的识别，即判别第二次行波波头是否是由故障点反射的波头。对于故障线路来说，设输电线路全长  $L$ ，故障点初始行波达到  $S$  端母线及由此反射到故障点后二次到达  $S$  端的时间分别为  $TS1$ ， $TS2$ ，则故障点距线路两端的距离分别为：

$$L_s = \frac{1}{2}(TS2 - TS1)v$$

$$L_r = L - L_s$$

式中： $v$  为行波波速， $L$  为线路全长。

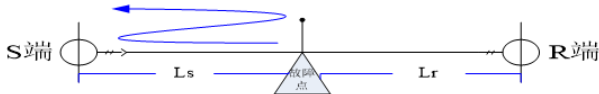


图 1 单端测距原理图

Figure 1 Schematic diagram of single side ranging

优点：单端较双端行波测距的成本降低一半以上，可以不需要 GPS 及两端数据通信，测距结果的实时性高；装置如果准确判断出故障点反射或透射回测量点的行波，由于测距结果基本不受线路两端设备和硬件的时间不一致性的影响，所以测距精度能够满足电力系统对精确故障定位的要求。

缺点：单端法由于原理上存在缺陷，比如某些故障情况下存在对侧端传过来的透射波，它们会与故障点发生的发射波发生重叠，从而给行波测距带来很大的困难，

一旦不能正确识别发射波时，测距无法保证。由于实现单端测距的计算机算法还不成熟，因而难以自动给出准确的测距结果；此时就需要人工介入，进行分析，但以人工为主的分析方式，由于受各种因素制约，通过单端暂态行波波形的离线分析很难获得准确的测距结果。因此目前在采用单端行波法的条件下，为了实现相对可靠的测距，需要结合阻抗法进行联合单端测距，在单端行波法失效的情况下，用阻抗法的测距结果作为补充，这样才能弥补单端行波法和单端阻抗法各自的不足，实现相对可靠的故障定位。

#### 3.2.2 双端行波测距法

原理：利用故障行波到达故障线路两端的时间差计算出故障距离，关键是准确记录下行波到达线路两端的相对时间，利用接收 GPS 的卫星信号并配合高精度恒温晶振的使用，可以获取精度在  $0.1\mu s$  以内的时间脉冲，因此 GPS 可作为同步时间单元。由于母线两端都只检测第一个到达的行波，线路的过渡电阻的电弧特性、系统运行方式的变化、线路的分布电容以及负荷电流等因素对测距复杂性不会造成大的影响，因此双端行波法比单端行波法测距结果更准确和可靠。

原理如图 2 所示。对于故障线路来说，设输电线路全长  $L$ ，故障点初始行波达到两端母线  $M$ 、 $N$  的时间分别为  $T_M$ 、 $T_N$ ，则故障点距线路两端的距离分别为：

$$L_M = \frac{1}{2}[(T_M - T_N)v + L]$$

$$L_N = \frac{1}{2}[(T_N - T_M)v + L]$$

式中： $v$  为行波波速， $L$  为线路全长。



图 2 双端测距原理图

Figure 2 Schematic diagram of two side ranging

优点：双端行波测距法虽然要求的设备成本较高，且其测距精度除了由原理误差造成外，还受线路长度的误差以及线路两端一、二次设备和相关硬件时间差的影响，对多回线路的结构原理上存在不足，但对确定线路而言，线路长度误差以及线路两端一、二次设备和相关硬件时间差等固定测距误差，可通过区外或区内故障进行修正；双端法还具有通过区外故障校核线路实际长度的功能；因此双端法比单端法测距结果更可靠。

缺点：成本较高，还需要 GPS 时钟系统及两端数据通信；在多回线路结构的原理上存在不足，需要单端法作为补充。

#### 3.2.3 技术对比

要实现准确和可靠的故障定位，需（下转第 105 页）

本文所述方法制备了空心球形富锂材料  $\text{Li}_{1.2}\text{Ni}_{0.2}\text{Mn}_{0.6}\text{O}_2$ ，有效改善了其电化学性能，具有较好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] Li L, Yuan Q, Ye S, et al. In-Situ Formed Lithium Ionic Conductor Thin Film on the Surface of High-Crystal-Layered  $\text{LiCoO}_2$  as High-Voltage Cathode Materials[J]. Materials Chemistry Frontiers, 2021.
- [2] Thomas A P, Das A, Raphael L R, et al. Lithium Cobalt Oxide ( $\text{LiCoO}_2$ ): A Potential Cathode Material for Advanced Lithium-Ion Batteries[M].2021.
- [3] Li Y, Wang L, Liang F, et al. Enhancing high rate performance and cyclability of  $\text{LiFePO}_4$  cathode materials for lithium ion batteries by boron doping[J]. Journal of Alloys and Compounds,2021,880(6):160560.
- [4] Mao Y. Preparation and properties of battery material nano- $\text{LiFePO}_4$ [J]. Material Design & Processing Communications, 2021.
- [5] Yang B, Zhou L, Hu X, et al. Enhancing the electrochemical performances of  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$  cathode material by anion/cation co-doping[J]. Ionics,

2021.

- [6] 韩彬. 锂电池三元正极材料的最新研究进展 [J]. 电源技术,2020,v.44;No.353(02):149-154.
- [7] Liu J, Liu Q, H Zhu, et al. Effect of Different Composition on Voltage Attenuation of Li-Rich Cathode Material for Lithium-Ion Batteries[J]. Materials, 2020,13(1).
- [8] Li L, Liu Y, Yu H, et al. Hollow spherical  $0.5\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot 0.5\text{LiMn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$  prepared by facile molten salt method for enhanced long-cycle and rate capability of lithium-ion batteries[J]. Journal of Alloys and Compounds,2021,855:157376.
- [9] Yin Y, et al. Formation of hollow nanocrystals through the nanoscale Kirkendall effect. Science, 2004.304(5671):711-714.

#### 作者简介:

冯玉龙(1988-),男,贵州仁怀人,硕士,讲师,从事锂离子电池电极材料研究。

基金项目:贵州省教育厅青年成长项目黔教合 KY[2018]443

(上接第 102 页)要采用双端行波测距法;当故障线路两端由于某种原因只有一端的行波故障数据而无法实现双端测距时,只能采用单端行波测距法,此时对于线路的故障测距来说,不能完全做到精确定位。

#### 4 优化改进措施

输气管道跨度大,站场数量多,站场变电站均为用户终端变电站,电源基本都引自当地电网企业。如果电源线路装设双端测距装置,在站场变电站内装设行波测距装置没有问题,但在上级电源点变电站内装设行波测距装置的实施难度较大,一是在建设期间,需要和众多的当地供电部门做好协调工作,确保装置能够安装到位;二是装置挂网运行期间,正常的运行维护也是需要考虑的问题。从以上因素考虑,采用单端行波测距装置也能解决目前站场外线路运行维护中的一些实际问题。就目前已安装单端行波测距装置的站场,可以从以下两个方面进行优化改进:

①考虑装置算法及自动测距软件的技术提升,同时增强设备单端查找故障点反射波的筛查能力,能够判断故障点距离本侧或对侧较近时,剔除周边变压器等设备对故障行波的反射波;

②在电源端变电站无法安装行波测距装置的情况下,考虑在站场外线路电源侧终端杆处装设户外型行波测距装置(和已安装装置采用一家产品)及配套设备,对站场变电站已安装的行波测距装置进行技术升级,

并实现信息互通,以实现双端测距。

#### 5 结束语

该压气站 35kV 变电站内行波测距装置基本能够在外线路发生故障时,判断出架空线路上故障点的位置,尽快恢复供电。但对于某些特殊情况,当站场外线路故障时,装置能够正确启动,但却无法判别是线路何处故障还是上级电源点的故障,究其主要原因是未实现行波测距的双端配置。本文通过对单端和双端行波测距法技术原理、优缺点的对比、分析,提出优化改进措施,以便于行波测距技术更好地服务于输气管道外线路的运维。

#### 参考文献:

- [1] 覃剑,等. 输电线路单端行波故障测距的研究 [J]. 电网技术,2005.
- [2] 任帅. 故障录波与单端行波测距一体化研究 [J]. 华北电力大学,2016.
- [3] 杨军. 行波测距技术在输电线路上的应用 [J]. 科技与创新,2019.
- [4] 陈凤涛,等. 输电线路单端行波测距法和双端行波测距法的对比 [J]. 电气技术与经济,2020.

#### 作者简介:

张书华(1966-),男,大学本科,高级工程师,长期从事电气工程设计及相关的研究工作。