

高压线路保护故障测距工程应用分析

陈军¹ 张丽¹ 南东亮² 常喜强¹ 张锋¹ 牛嘉鑫²

(1. 国网新疆电力公司调度控制中心, 新疆 乌鲁木齐 830011;
2. 国网新疆电力公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:介绍了基于故障分析的单端量测距、双端量测距方法,通过新疆电网一起220 kV线路接地短路故障,发现在纵联距离保护和光纤差动保护配合时,如果纵联距离慢动且开关快切时,则有可能出现远端的纵联距离保护测距不准的情况。针对此次故障,进行测距计算分析,得出线路保护装置测距一般在保护动作后10 ms,取数据窗进行计算测量阻抗。现场分析时应优先采用光纤差动保护的测距结果,纵联距离测距结果用以辅助,还可以借助故障录波器测距结果,或者专门的行波测距结果。

关键词:高压输电线路; 继电保护; 故障测距; 故障分析

Abstract: The fault location method using single terminal data and two terminal data is introduced. Taking the grounding fault of a 220 kV line in Xinjiang power grid for example, it is found that when the pilot distance protection is cooperated with optical-fiber differential protection, if the pilot distance protection is slow and the breaker is switched off quickly, the fault location of pilot distance protection in the remote terminal may be inaccurate. According to the fault, the fault location is calculated and analyzed, and it is obtained that the fault location of line protection device is done in 10 ms after the protection action, and the data window is adopted to calculate and measure the impedance. During on-site analysis, it should give preference to the fault location results of optical-fiber differential protection, the fault location results of pilot distance protection can be of great assistance, and can also use the fault location results of fault recorder or the results of a special traveling wave fault location.

Key words: high-voltage transmission line; relay protection; fault location; fault analysis

中图分类号: TM863 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0054-04

输电线路发生故障后,继电保护装置将切除故障线路,同时需做到快速查找故障点,及时恢复供电。快速、准确定位故障能有效缩短故障修复时间,并减轻巡线负担,提高供电可靠性。由此,准确故障测距一直受到电网运行管理部门和专家学者的普遍关注^[1]。而继电保护装置要求其具有实时特性,主要任务是切除发生在保护区内的故障,因而较难给出精确的故障定位。因此需要安装故障测距装置,利用线路故障前、后的电压、电流波形,在离线方式下采用行波测距法精确地确定故障点,以便检修人员进行抢修。

继电保护常采用故障分析法进行测距,其中又分为单端量法和双端量法,单端量法在大多数情况下无法消除对侧系统以及过渡电阻的影响,因此测

距精度不能得到有效保障^[2]。近年来,随着光纤通信技术和全球定位系统的快速发展,双端量法测距受到业界的广泛关注。双端量法可从原理上消除过渡电阻和运行方式的影响,具有很好的发展与应用前景^[3]。通过新疆电网一起220 kV线路接地短路故障后,高频距离保护在远故障端测距误差较大,由此对比了双端量和单端量测距的精度,并对高频距离保护和光纤差动保护配合时产生的测距问题做了详细分析,对此类事故分析具有一定的参考。

1 微机保护装置故障测距介绍

1.1 双端量法测距

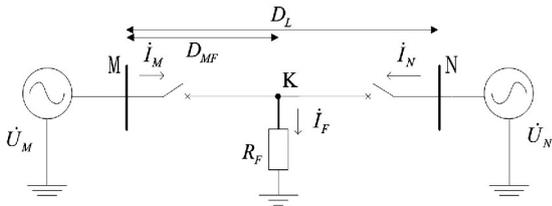


图 1 双端系统图

由图 1 所示的双端系统图可知,能够利用基于两侧各相电流、电压量的测距公式如下:

$$\dot{U}_M = \dot{I}_M \times ZD_{MF} + \dot{I}_F \times R_F \quad (1)$$

$$\dot{U}_N = \dot{I}_N \times Z \times (D_L - D_{MF}) + \dot{I}_F \times R_F \quad (2)$$

联立式(1)和式(2),消去 R_F 可求出由 M 端到故障点的距离 D_{MF} 为

$$D_{MF} = \frac{(\dot{U}_M - \dot{U}_N) + \dot{I}_N \times Z \times D_L}{(\dot{I}_M + \dot{I}_N) \times Z} \quad (3)$$

式(3)中: Z 为单位距离阻抗; D_L 为线路全长。可见双端测距不受过渡电阻的影响,也不受零序网络的影响,式中电流量已正确进行电容电流补偿。

1.2 单端法测距

保护装置中基于阻抗法的单端法测距,装置根据的测量电流 \dot{I}_M 、电压 \dot{U}_M 按表 1 所列出的公式计算即可(以 A 相及 AB 相为例)。

表 1 阻抗继电器输入电压和电流即能正确测距的故障

| 阻抗 | 三相阻抗继电器 | 相间阻抗继电器 |
|--------------|---|--|
| $Z = R + jX$ | $\frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A + 3k\dot{I}_0}$ | $\frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{I}_A - \dot{I}_B}$ |
| 能正确测距的故障 | A0、AB0、AC0、ABC | AB、AB0、ABC |

表 1 中 k 为零序电流补偿系数 $k = (Z_0 - Z_1) / (3 \times Z_1)$ 其中 Z_0 为线路零序电抗, Z_1 为线路正序电抗。

2 事件分析

1) 保护动作情况: 2015 年 5 月 1 日 10 时 54 分, 220 kV 2276 号线发生 C 相接地故障, 两侧保护动作情况如表 2 所示。

图 2 和图 3 为两侧变电站故障录波器录波。

2) 测距情况: 根据实际巡线, 故障位置在距 M 变电站侧 61.5 km 处, 图 4 为故障线路示意图。

表 2 两侧保护动作情况

| 变电站 | M 变电站 | N 变电站 |
|-----------------------|-----------------------|------------------|
| A 套 光纤 差动 保护 | 11 ms 差动动作 | 9ms 差动动作 |
| | 21 ms 距离快速段动作 | |
| | 21 ms 距离 I 段动作 | 36 ms 距离 I 段动作 |
| | 故障选相 C 相 | 故障选相 C 相 |
| | 故障测距 63.1 km | 故障测距 100.9 km |
| | 1 064 ms 重合闸动作 | 1 059 ms 重合闸动作 |
| | 11 754 ms 差动动作 | 11 753 ms 差动动作 |
| | 11 781 ms 距离 I 段动作 | |
| | 故障选相 C 相 | 故障选相 C 相 |
| | B 套 高频 距离 保护 | 21 ms 距离快速段动作 |
| 23 ms 距离 I 段动作 | | 28 ms 纵联距离动作 |
| 25 ms 纵联距离动作 | | 35 ms 距离 I 段动作 |
| 故障选相 C 相 | | 故障选相 C 相 |
| 故障测距 64.58 km | | 故障测距 134.65 km |
| 1 054 ms 重合闸动作 | | 1 057 ms 重合闸动作 |
| 11 782 ms 距离 I 段动作 | | |
| 11 786 ms 纵联距离动作 | | 11 782 ms 纵联距离动作 |
| 11 786 ms 距离零序动作 | | 11 782 ms 纵联零序动作 |
| 故障选相 C 相 | | 故障选相 C 相 |

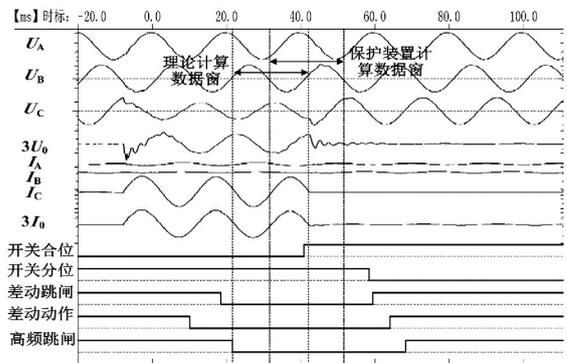


图 2 M 变电站侧故障录波图

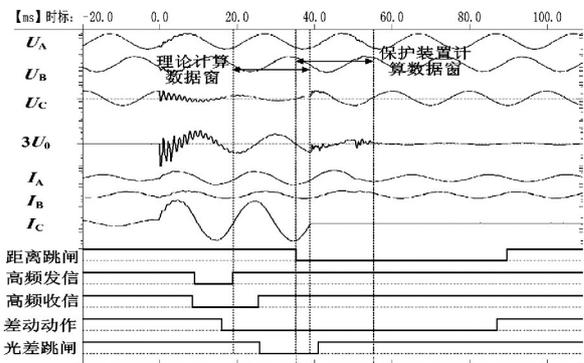


图 3 N 变电站侧故障录波图

根据图 4, 在此对两侧保护动作行为进行分析:

1) 光纤电流差动保护和纵联距离保护, 对于区内金属性故障两侧可同时动作;

2) 距离快速段保护主要确保近端故障可以快速切除, 因此此次故障过程中仅近故障端的 M 变电

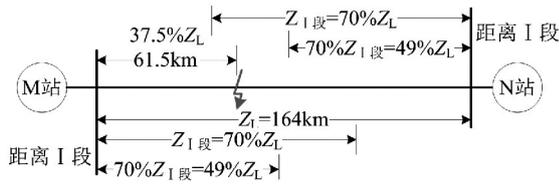


图 4 故障线路示意图

站距离快速段动作;

3) 后备距离 I 段保护,在故障测量阻抗落入 70% 距离 I 段整定动作区时可以保证 30 ms 出口。实际距离 I 段按照 70% Z_L 整定,故障点在靠近 M 变电站侧 37.5% Z_L 处, M 变电站侧距离 I 段可满足 30 ms 出口要求,而 N 变电站侧距离 I 段动作时间超过 30 ms。

3 故障测距计算

由故障线路信息可知:

线路全长 164 km; 零序阻抗: $R_0 = 18.42 \Omega$, $X_0 = 150.8 \Omega$, $Z_0 = 151.9208 \Omega$, 角度 83° ; 正序阻抗: $R_1 = 8.348 \Omega$, $X_1 = 53.35 \Omega$, $Z_1 = 53.9992 \Omega$, 角度 81° 。M 变电站侧 CT 变比为 1200/1, N 变电站侧 CT 变比为 800/1。

可得, M 变电站侧线路正序电抗为: 29.10Ω , N 变电站侧线路正序电抗为: 19.40Ω 。

3.1 M 变电站侧测距计算

采用理论测距验证计算时可使用故障录波器的波形;但由于故障录波器的采样频率及滤波的特性与保护装置的有较大区别,同时保护装置在进行测距计算时,进行了参数修正及滤波加窗处理,因此,通过故障录波器的数据计算结果只能做定性的参考分析,采用表 1 中三相阻抗继电器计算公式,在图 2 故障录波中对高频保护动作后 20 ms 数据窗进行理论计算,得出距离保护动作后的阻抗分析如图 5 所示。

计算结果为

$$Z_c = R + jX = 2.99 + j11.30 \Omega \quad (5)$$

可得,故障点距 M 变电站侧计算距离值为

$$L_{\text{测距}} = \frac{164 \times 11.30}{29.10} = 63.68 \text{ km} \quad (6)$$

计算距离为 63.68 km,比高频保护测距值(64.58 km)误差较小,原因是高频保护装置测距是在高频保护动作后 10 ms 进行,计算采用数据窗如图 2 所示,计算过程中故障已切除(光差保护先动作),只有半个周波,因此 B 套高频保护装置计算误差较大。

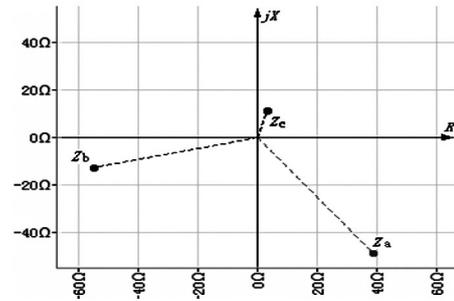


图 5 M 变电站侧侧阻抗分析图

3.2 N 变电站侧高频保护测距分析

由表 2 中动作时序可知, A 套差动保护 9 ms 动作, B 套纵联距离 28 ms 动作, 距离 I 段 35 ms 动作, B 套高频保护测距在纵联距离动作后 10 ms。由图 3 故障录波高频保护装置的计算采用数据窗可看出, B 套高频保护开始测距时开关已跳开,故障电流已消失,测距数据跨窗,已无实际测量意义。

由于纵联距离保护自身原理特性决定,纵联距离保护动作较光纤差动保护慢,高阻接地故障时会更慢,测距问题也就会更加突出。

3.3 N 变电站侧测距计算

由于 N 变电站侧高频保护已无法准确测距,在此,可通过故障录波理论计算,对图 3 中线路故障相电压、电流进行频谱分析,如图 6 所示,得出如下主要结论:

- 1) 线路故障后 0 ~ 20 ms, C 相电压含有 3 次以上的高频谐波,故障后 20 ~ 40 ms, C 相电压谐波含量明显降低;
- 2) 线路故障后 0 ~ 20 ms, C 相电流谐波较故障后 20 ~ 40 ms 也有所减少;
- 3) 由于谐波对测距精度影响较大,因此,测距一般在保护动作后,断路器断开前比较稳定的一个周波取数据窗进行计算。

按照上述分析,对图 3 中理论计算数据窗(故障后 20 ~ 40 ms)采用表 1 中三相阻抗继电器计算公式计算,阻抗分析如图 7 所示。

计算结果为

$$Z_c = R + jX = 4.54 + j12.01 \Omega \quad (7)$$

可得,故障点距 N 变电站侧计算距离值为

$$L_{\text{测距}} = \frac{164 \times 12.01}{19.40} = 101.53 \text{ km} \quad (8)$$

通过故障录波的理论计算值为 101.53 km, N 变电站侧保护装置故障测距结果: A 套 100.9 km, B 套 134.65 km。经过实际巡线,故障距离为 102.493

km。可见,高频保护可采用动作前的电压电流波形进行测距计算,但是,由于光线保护和高频保护之间没有联系,高频保护不可能预知光差保护已经切除故障,无法进行采取使用距离保护动作前的波形进行测距计算。

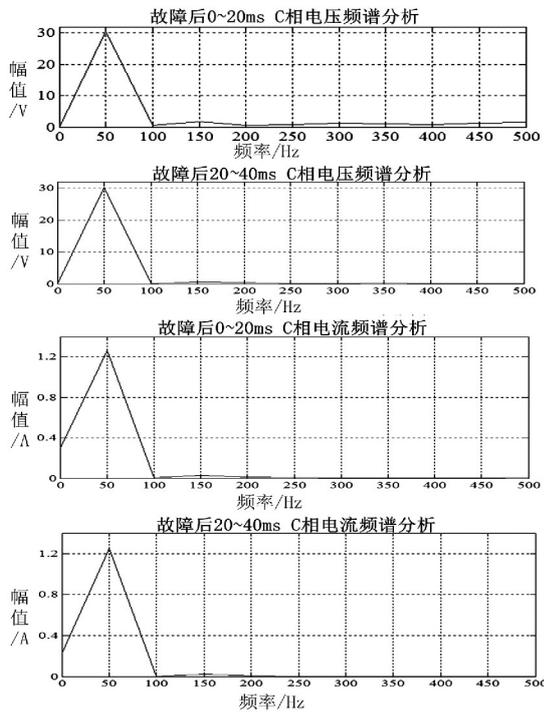


图 6 N 变电站侧故障电压电流频谱图

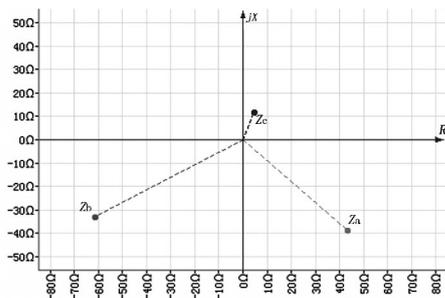


图 7 N 变电站侧侧阻抗分析图

通过 M 变电站侧和 N 变电站侧故障录波及动作信息可知:

1) 大电源侧(M 变电站)电压相对较为稳定,测量阻抗也更为准确,M 变电站侧 B 套高频保护距离快速段、距离 I 段均可靠动作,即便采用单端算法测距误差也在国标范围内。N 变电站侧 B 套高频保护纵联距离在 28 ms 动作,纵联距离测距时开关已跳开(差动保护先动作,且开关切除速度快),故障电流已消失,测距数据跨窗,已无实际测量意义。再深入分析,N 变电站侧为弱电源侧,特性为短路电流小,电压也容易波动,有可能会

导致距离元件因灵敏度不足而不能启动,这对测距也会有很大影响。

2) 根据对图 6 的分析,考虑到故障初始阶段可能存在谐波等会影响测量阻抗计算的因素,因此保护测距实际是在本保护动作后 10 ms 才进行测量阻抗的计算,考虑到开关的实际分闸时间一般在 60 ~ 80 ms 左右,因此这种测距方案可以保证取到稳定的故障数据进行测量阻抗的计算。如果开关分闸时间过小,则存在开关分闸过程中或者分断后才取到测距数据的可能,此种情况下的测距数据已经不能反映真实的故障数据,因此测距误差会相对较大。

3) 此次暴露的问题是在纵联距离保护和光纤差动保护配合时,如果纵联距离慢动且开关快切时,则有可能出现远端的纵联距离保护测距不准的情况,近端由于有其他保护快速动作,一般不会出现问该情况。

4 建议与措施

1) 保护装置光纤差动保护及距离保护都具有测距功能,纵差保护测距功能在带过渡电阻故障时优于距离保护,但考虑到光纤差动退出运行的可能性,仍保留距离保护测距功能,现场应优选光纤差动保护的测距结果,方便现场事故处理。当只能依靠距离保护测距时,应考虑采用大电源侧的测距数据进行分析。

2) 在纵联距离和光纤差动配合的情况下,对于远端故障,如果需要提高高频保护测距精度,可以将光纤保护的信号接入到高频保护,光纤差动保护在计算出远端故障时,才发出动作信号至高频保护,修改高频保护测距启动程序,当高频保护采集到差动保护动作信号时,开始记录测距波形,不再依靠高频保护动作后 10 ms 启动测距程序的方法,其他情况按原保护逻辑进行。

3) 建议加快电网线路保护双光纤化改造,利用光纤保护测距的优越性。

4) 建议尽快建设行波测距主站,接入厂站端行波测距装置,实现故障点快速定位。

5 结论

1) 通过计算分析,谐波对测距精度影响较大,故障初始阶段可能存在谐波等会影响测量阻抗计算

(下转第 86 页)

是: 液压盘车装置转速上升曲线变得更为平缓, 到达额定转速后过调现象基本消失; 而相对的影响是从零转速到达额定转速的启动时间变得更长(从调整前的 4 min 27 s 变为调整后的 11 min), 且最高转速也有些微降低(从调整前的 2.05 Hz 降低到调整后的 1.96 Hz)。最终的调整效果, 是满足燃气轮发电机组液压盘车装置设计要求的。

4 结 论

燃气轮发电机组液压盘车装置不同于传统的电动盘车装置, 其驱动力来自于顶轴油, 额定转速较高, 且实现了液压盘车装置三大功能的自动化, 如 1.2 中所述。国内燃气轮机液压盘车装置多为进口设备, 因国外厂家的技术保密, 燃气轮发电机组液压盘车系统的现场调试常困难重重。就该燃气轮发电机组液压盘车系统的基本原理, 调试内容和步骤, 以及调试过程中遇到的问题, 进行了较为仔细的研究和论述。

1) 介绍了燃气轮发电机组液压盘车装置和盘车控制模块的基本原理, 并就国内某电厂 SGT5 - 4000F 燃气轮发电机组液压盘车系统的调试过程进行了较为详细的描述, 包括液压盘车系统调试前的准备工作和液压盘车装置 3 种运行状态的调试过程。

2) 介绍了该电厂 2 号燃气轮发电机组液压盘车系统调试工作中遇到的问题, 即液压盘车控制模
(上接第 57 页)

的因素, 考虑到开关的实际分断时间一般在 60 ~ 80 ms 左右, 线路保护装置测距一般在保护动作后 10 ms 取数据窗进行计算测量阻抗;

2) 在纵联距离保护和光纤差动保护配合时, 如果纵联距离慢动且开关快切时, 则有可能出现远端的纵联距离保护测距不准的情况, 近端由于有其他保护快速动作, 一般不会出现该情况;

3) 现场分析优先采用光纤差动保护的测距结果, 纵联距离测距结果用以辅助, 还可以借助故障录波器测距结果, 或者专门的行波测距结果;

4) 建议加快电网线路保护双光纤化改造, 及行波测距主站, 实现故障点快速定位。

参 考 文 献

[1] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 256 - 333.

块存在过调现象, 导致盘车装置的转速波动; 并同时论述了该问题的解决办法, 即通过调整液压盘车控制模块的动力油溢油阀和动力控制油溢油阀, 降低液压盘车动力油供油压力和动力油的控制油压力, 使得液压盘车装置转速上升曲线变得更为平缓, 过调现象基本消失。

参 考 文 献

[1] 上海电气. SGT5 - 4000F 燃气轮机盘车装置安装调试手册 [R]. 上海: 上海电气电站设备有限公司, 2013.
[2] 杨顺虎. 燃气 - 蒸汽联合循环发电设备及运行 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 193 - 194.
[3] 张旋洲. 燃气轮机运行故障及典型事故的处理 [J]. 燃气轮机技术, 2006, 19(1): 64 - 67.
[4] 陈荣泉. PG6541B 燃气轮机盘车系统的缺陷及解决办法 [J]. 燃气轮机技术, 2000, 13(4): 56 - 58.
[5] 李磊. 北京西北热电厂中心京能燃气热电厂项目“二拖一”机组燃气轮机润滑油系统调试措施 [R]. 北京: 华北电力科学研究院有限责任公司, 2013.
[6] 上海电气. SGT5 - 4000F 燃气轮机盘车装置运行维护手册 [R]. 上海: 上海电气电站设备有限公司, 2013.
[7] 上海电气. SGT5 - 4000F 燃气轮机运行维护手册 [R]. 上海: 上海电气电站设备有限公司, 2013.
[8] 上海电气. SGT5 - 4000F 燃气轮机润滑油模块运行维护手册 [R]. 上海: 上海电气电站设备有限公司, 2013.

(收稿日期: 2015 - 11 - 27)

[2] 林富洪, 曾惠敏. 基于分布参数模型的高压输电线路单相接地故障单端测距方法 [J]. 电网技术, 2011, 35(4): 201 - 205.
[3] 夏经德, 索南加乐, 王莉, 等. 基于输电线路纵向阻抗纵联保护新原理的研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 43 - 51.

作者简介:

陈 军(1974), 硕士、高级工程师, 主要从事电网调度自动化工作;

张 丽(1982), 硕士、工程师, 主要从事电力系统继电保护工作;

南东亮(1985), 硕士、工程师, 主要从事电力系统继电保护工作;

常喜强(1976), 硕士研究生导师、高级工程师, 主要从事电网运行控制管理工作;

张 锋(1978), 硕士、工程师, 主要从事电网运行控制管理工作;

牛嘉鑫(1988), 硕士、工程师, 主要从事电力系统继电保护工作。
(收稿日期: 2015 - 08 - 17)