

长距离直流输电线路短路/接地故障定位方法研究

毛源¹ 李巍巍² 史强³ 吴驰² 吴天宝²

(1. 国网四川省电力公司技能培训中心, 四川 成都 611133;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

3. 国网四川省电力公司计量中心, 四川 成都 610045)

摘要: 高压直流输电技术在电力系统中得到了越来越多的关注和应用,并逐步成为跨区输电的重要骨干网架。对长距离直流输电线路典型短路/接地故障进行分析研究,提出故障的识别及定位方法。采用兆欧表对故障类型进行定性,针对不同类型故障分别采用不同接线方法对故障位置进行估算,利用挂接地线配合估算的故障位置判断短路/接地故障点的相对位置,在故障标段内采用分段摇绝缘快速判断线路故障点。该定位方法在±800 kV 宾金直流输电线路短路/接地故障定位排查中发挥了高效的作用。

关键词: 直流输电线路; 短路/接地故障; 故障定位

Abstract: High-voltage direct current (HVDC) transmission technology has got more and more attention and application in power system, and gradually becomes an important backbone of interregional transmission grids. The typical short-circuit/grounding faults of long-distance HVDC transmission line are investigated, and fault recognition and location methods are put forward. Megger is used to qualitatively analyze the fault types. The locations of different type fault are estimated according to different wiring methods. Based on the estimated value of fault location, the relative fault location is judged by hanging ground line, and the precise fault location is obtained by sectional measure insulation. The location method is successfully used in ±800 kV Bin-Jin DC transmission line for positioning faults.

Key words: HVDC transmission line; short-circuit/grounding fault; fault location

中图分类号: TM721.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0025-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.006

0 引言

直流架空输电线路只需要两根,且无集肤效应导线截面利用率高,线路造价低并节约输电走廊^[1];直流输电电阻损耗、电晕损耗和无线电干扰都比交流输电小,且不存在无功损耗,年电能损耗小,电能传输经济性高^[2-3];同时直流输电线路送电距离远且有利于联网^[4]。为应对中国能源基地远离负荷密集区的现状,高压直流输电技术在电力系统中得到了越来越多的应用,并逐步成为跨区输电的重要骨干网架^[5-7]。

电力线路架设施工过程中,为确保施工人员人身安全,避免相邻线路感应电压的影响,需就近挂接地线将线路接地。线路施工完成后,需将接地线逐一拆除为输电线路参数测试及投运做好准备^[8]。然而在实际工作中常出现线路上留存短路/接地故障的情况,使得后续工作无法正常开展。由于直流

输电线路输送距离长,线路途径地区地理条件恶劣、气象环境复杂,高压直流线路架设高度高,给故障查找工作带来很大困难^[9-10]。

这里主要研究长距离直流输电线路典型短路/接地故障,提出故障的识别方法及定位方法。通过兆欧表对故障类型进行初步定性,对于不同类型故障分别采用不同的接线方法对故障位置进行估算,利用挂接地线配合初始测量值判断接地故障点的相对位置,在故障区段内采用分段摇绝缘可以判断线路接地故障点所在标段。同时在宜宾换流站和金华换流站对±800 kV 宾金直流输电线路短路/接地故障点进行双向快速准确地定位排查,验证了所提方法的有效性。

1 长距离直流输电线路故障点定位原理

直流输电线路短路/接地故障可以分为3种类型,即单线接地、双线短路、双线短路接地,如图1

所示。直流输电线路与架空地线无电磁感,因此直流输电线路架空地线设计时每基塔均通过接地引下线与接地装置相连,若导线与架空地线或杆塔相连,则认为其接地。

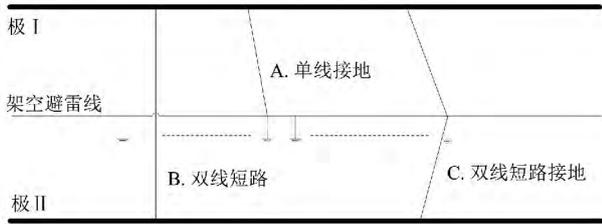


图1 直流线路短路/接地点示意图

短路/接地点的存在主要是由于施工单位在工作完毕后未拆除人工短接线所致。线路施工结束后人工查找短路/接地点非常困难,并且短路/接地点查找过程中需要耗费大量的人力、物力和时间,往往会导致直流线路参数测试时间的延误甚至是线路投运时间的推迟。线路参数测量及投运时若存在短路/接地故障,加压后会引发安全隐患,因此快速对长距离直流输电线路进行短路/接地故障点定位至关重要^[5-6]。

1.1 线路短接/接地故障类型初判

开展线路参数试验之前,首先确认对侧端直流极线隔离开关的线路侧接地开关处于分闸位置,拉开试验端直流极线隔离开关的线路侧接地开关。采用直流电阻仪对极 I、极 II 分别测试其对地和极间电阻。图 2 给出长距离直流输电线路故障类型判断简单逻辑,可以看出,若测得极 I、极 II 对地和极间均为开路,则说明直流输电线路无短路/接地故障;若测得某一极线路存在对地电阻值,则该极线路存在接地故障;若两极之间存在电阻值,则可能存在双极线路短路故障,需要进一步校核。

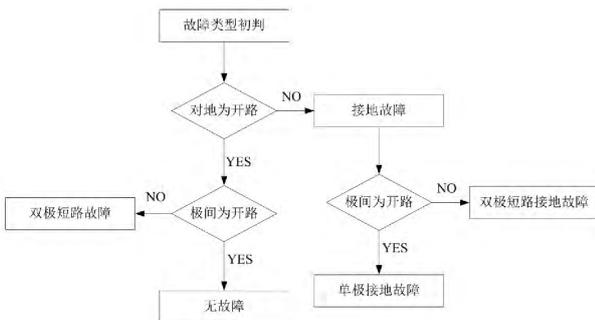


图2 输电线路短路/接地故障类型判断简单逻辑

1.2 故障位置估算

由于直流线路跨度大,长度可达数千公里,沿途气候及地理条件各异,给线路参数测量及估算带来一定

的影响。为了方便短路/接地点计算,实现初步对故障点估算,现将估算过程中的一些参量做如下假设:

- 1) 假设杆塔接地电阻均相等;
- 2) 假设地电阻分布均匀;
- 3) 假设输电线路沿线气温分布均匀;
- 4) 假设正负两极线路参数均一致。

1.2.1 单线接地

对于单线接地故障点,假设极 I 线路存在单线接地故障,极 II 线路正常,无极间短路故障,可在线路测试端对侧开路时用直流电阻仪在测试端对极 I 施加直流电压,如图 3 所示。极 I 测试端加直流电压测得的电阻为

$$R_1 = R_n + R_y + R_1 + R_d + R_C + R_C \approx R_y + R_1$$

式中: R_1 为极 I 测试端到单线接地故障点的线路电阻; R_n 为直流电阻测试仪内阻, R_n 值极小,一般不予考虑; R_d 为杆塔接地电阻; R_d 为多基杆塔接地电阻并联值,其数值大小一般远小于线路电阻; R_y 为测量端引下线电阻,可以由直流电阻仪直接测得; R_C 为地电阻; R_C 为接触电阻。

则对单线接地故障点粗略定位为

$$x = \frac{R_1}{r_t}$$

式中 r_t 为温度为 t 时输电线路的电阻率。

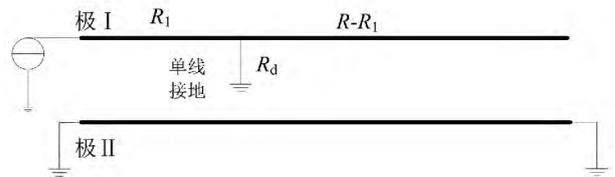


图3 单线接地故障位置估算电路接线示意图

1.2.2 双线短路

对于双线短路故障点,在测试端对侧开路时用直流电阻仪在测试端对极 I 和极 II 施加直流电压,如图 4 所示,测得的电阻为

$$R_x = R_n + R_y + R_3 + R_C \approx R_y + R_3$$

式中 R_3 为极 I 测试端到双线短路故障点的线路电阻和极 II 测试端到双线短路故障点的线路电阻串联值。

$R_3 < 2R$ (R 为线路电阻预测值) 时,可确定输电线路存在双线短路故障,此时双线短路点位置约为

$$x = \frac{R_3}{2r_t}$$

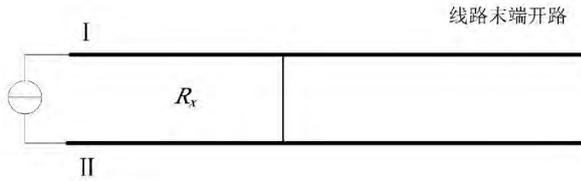


图4 双线短路故障位置估算电路示意图

1.2.3 双线短路接地

两极线路对地电阻大致相等且极间存在短路,可认为直流输电线路存在双线短路接地故障。对于双线短路接地故障点定位过程中,在测试端对侧开路,采用直流电阻在测试端分别对极 I 和极 II 施加直流电压,如图 5 所示,极 I 测试端加直流电压测得的电阻为

$$R_I = R_n + R_y + R_1 + R_d + R_C + R_C \approx R_y + R_1$$

极 II 测试端加直流电压测得的电阻为

$$R_{II} = R_n + R_y + R_2 + R_d + R_C + R_C \approx R_y + R_2$$

式中, R_2 为极 II 测试端到单线接地故障点的线路电阻。

若 $R_I \approx R_{II}$, 认为存在双短路接地故障, 此时双线短路接地故障点位置约为

$$x = \frac{R_I + R_{II}}{2r_l}$$

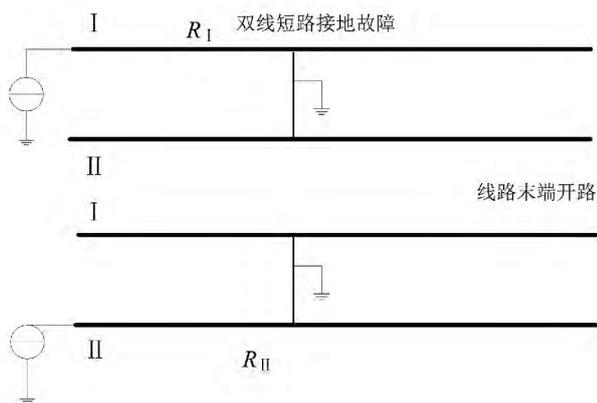


图5 双线短路接地故障位置估算电路示意图

1.3 故障精确定位

为了进一步提高定位精度,在短路/接地点估算位置前后 10 km 处人工挂接地线,根据前面介绍的方法计算得到 R_a 。若 $R_a < x \times r_l$, 则人工挂接地线位置位于故障点之前;若 $R_a \approx x \times r_l$, 则人工挂接地线位置位于故障点之后。调整人工挂接地线位置,直至 $R_a < x \times r_l$ 。

在确定人工挂接地线 a 点后,在 a 点前 20 km 处再人工挂接地线 b 点,根据所介绍的方法计算得

到 R_b :

$$\frac{\Delta R_{a,b}}{\Delta L_{a,b}} = \frac{\Delta R_{a,0}}{\Delta L_{a,0}}$$

式中: $\Delta R_{a,b} = R_a - R_b$; $\Delta R_{a,0} = R_a - R_0$; $\Delta L_{a,b} = L_a - L_b$; $\Delta L_{a,0} = L_a - L_0$

配合初始故障位置的估算值挂接地线,可判断接地故障的相对位置,根据上式可以进一步将故障位置精确到某一区段内。在故障所在区段采用分段摇绝缘可以快速判断线路短路/接地故障点。

2 直流输电线路短路/接地故障定位实例

实际输电线路中的短路/接地故障可能是一处或多处单一类型故障或不同类型故障,影响输电线路线路参数测量及线路投运。 ± 800 kV 宾金直流输电线路全长 1 652 km, 起点为四川宜宾换流站, 终点为浙江金华换流站, 途径四川、贵州、湖南、江西和浙江 5 个省份。在 ± 800 kV 宾金直流线路参数测试过程中,在线路两端开路的情况下,用 5 000 V 高压兆欧表分别测试极 I、极 II 对地绝缘电阻,发现数值异常,初步判定线路中存在接地故障。从 ± 800 kV 宾金直流输电线路两侧同时采用所提到的故障查找方法对故障点进行估算,试验电路图如图 6 所示。线路两端开路,在宜宾换流站采用直流电阻仪测量极 I、极 II 电阻分别为 R_I 、 R_{II} , 在金华换流站采用直流电阻仪测量极 I、极 II 电阻分别为 R_I' 、 R_{II}' 。测试结果显示 $R_I \approx R_{II}$ 且 $R_I' < R_{II}'$ 。技术人员判断 ± 800 kV 宾金直流输电线路至少存在 3 处接地点,即靠近宜宾换流站的双线短路接地故障和靠近金华换流站的单线接地故障,如图 6 所示。

根据所介绍的方法对双线短路接地故障点位置估算,得到故障点到宜宾换流站的距离为

$$x_1 \approx \frac{R_I + R_{II}}{2r_l}$$

对单线接地故障点位置估算,得到故障点到金华换流站的距离为

$$x_2 \approx \frac{R_I'}{r_l}$$

根据故障点估算结果利用挂接地线判断接地故障点的相对位置确定故障所在区段,在故障区段内

采用分段摇绝缘快速判断线路短路/接地故障点,最终确定了故障点所在标段,及时拆除了短路/接地点。

对输电线路故障定位并拆除短路/接地点后,工作人员重复线路短路/接地故障初判工作,若仍有短路/接地故障则根据初判逻辑判断故障类型,根据故障类型选择合适的方法进行新的故障点估算、定位并拆除。重复以上工作直至消除全部短路/接地故障为止。该方法的应用可为施工单位处理缺陷节省大量人力、物力和时间,确保线路按期调试成功及投运。

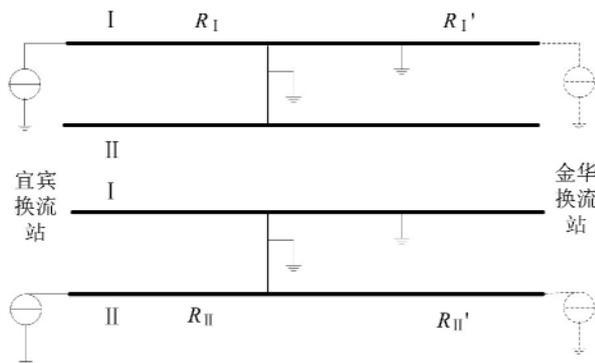


图6 ±800 kV 宾金直流输电线路故障点定位电路示意图

3 结 语

对长距离直流输电线路典型短路/接地故障进行分析,提出故障的识别方法及定位方法,得到以下结论:

- 1) 采用直流电阻仪可以对长距离直流输电线路故障类型进行定性;
- 2) 采用不同的接线方法可以对长距离直流输电线路故障位置进行估算;
- 3) 结合故障位置估算值,利用挂接地线可以有效判断接地故障点的相对位置确定故障所在标段;

4) 通过现场对 ±800 kV 宾金直流输电线路短路/接地故障点定位排查,验证了所提方法可以快速有效地查找长距离直流输电线路短路/接地单一或混合故障点。

参考文献

- [1] 王官洁,任震. 高压直流输电技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,1997.
- [2] 柴贤东. 特高压直流输电线下电场和电晕损耗分析[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [3] 罗振平. 对直流输电线路线损的分析和建议[J]. 电力建设,2005(11): 35-36,40.
- [4] 邓万婷. 换流站试验技术创新[J]. 电力建设,2007,28(12): 14-17.
- [5] 史六如. ±500千伏直流输电线路上的过电压研究[J]. 电网技术,1987(1): 33-36.
- [6] 卢铁兵,冯晗,王琦,等. 特高压直流输电线下合成电场分布的影响因素[J]. 高电压技术,2009(9): 2066-2070.
- [7] 容致旋. 直流输电的发展[J]. 水利水电快报,1994(1): 2-6.
- [8] Guide for Measurement of DC Transmission line and Earth Electrode line Parameter[S]. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute,2014.
- [9] 宋国兵,蔡新雷,高淑萍,等. 高压直流输电线路故障定位研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2012(5): 133-137,147.
- [10] 赵彦平,薛宇箭. 直流输电线路故障点的定位方法[J]. 科学之友,2011(21): 48-49,51.

作者简介:

毛源(1964),讲师,从事输配电线路、电力系统、电气设备研究;

李巍巍(1984),博士研究生,主要从事输电线路故障定位、覆冰机理及监测技术研究。

(收稿日期:2015-06-23)

发展绿色电力 建设美丽中国