

一起线路故障引发站内设备故障的 多重电网故障分析

苟小刚 段 然 崔明德

(国网四川省电力公司天府新区供电公司 , 四川 成都 610021)

摘 要: 针对某 110 kV 变电站因 35 kV 线路发生单相接地故障导致站内主变压器总路断路器 CT 绝缘击穿 , 发生异名相两点接地短路的复杂电网事故进行了详细分析。该事故无法通过故障点判断是否属于主变压器差动保护区内故障 , 通过差流计算的方法证明了 CT 故障点在主变压器差动保护区外 , 差动保护因 CT 受损波形畸变而动作。分析过程显示了故障细节对事故分析的重要性。

关键词: 多重故障; 故障分析; 主变压器差动保护; 区外故障

中图分类号: TM774 文献标志码: B 文章编号: 1003 - 6954(2020)01 - 0059 - 04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.01.012

A Detailed Analysis on Complex Power Grid Accident Caused by A Fault of 35 kV Line in Substation

Gou Xiaogang , Duan Ran , Cui Mingde

(Tianfu New District Electric Power Supply Company , State Grid Sichuan
Electric Power Company , Chengdu 610021 , Sichuan , China)

Abstract: Aiming at a complex power grid accident that CT had insulation breakdown in the substation caused by a single - phase grounding fault of a 35 kV line , which finally led to two points grounding short circuit occurred in different phases , a detailed analysis is carried out. Through the differential current calculation method , it is proved that the CT fault point moves outside the zone of main transformer differential protection , and the differential protection operates because of the distortion of CT damaged waveform. The analysis process shows the importance of fault details in accident analysis.

Key words: multiple faults; fault analysis; main transformer differential protection; external fault

0 引 言

继电保护装置能够在电网事故发生的第一时间隔离故障 , 并通过故障录波记录故障前后的电气量^[1-2] , 同时对故障录波的分析可以推演电网事故的发展过程 , 判断保护是否正确动作 , 再结合一次设备的故障情况可以验证分析的正确性。但针对复杂的电网事故 , 故障录波的细节会成为事故分析的关键。下面针对一起因 35 kV 线路发生单相接地故障而引发的多重故障进行详细的事故分析^[3-7]。

1 事故简述

2018 年 3 月 16 日 23 时 12 分 , 某 110 kV 变

站 35 kV 馈线速断保护动作 , 跳开线路断路器 , 同时 3 号主变压器比率差动保护动作 , 3 号主变压器三侧 103 断路器、303 断路器、903 断路器跳闸。事故变电站主接线如图 1 所示。

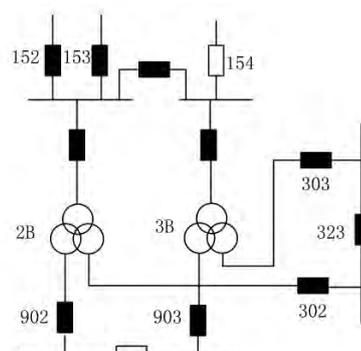


图 1 事故变电站主接线

1.1 事故前运行方式

该站为单母分段接线方式 , 有 3 条 110 kV 进

线事故前 152 断路器、153 断路器处于运行状态，154 断路器热备用。110 kV II 母、III 母并列运行，35 kV II 母、III 母并列运行，10 kV II 母、III 母硬连接与 10 kV IV 母分列运行。

1.2 事故现场及保护动作报告

巡视发现 3 号主变压器 303 断路器柜泄压板被冲开，断路器柜内有放电痕迹。停电后进柜检查发现 303 断路器 B 相 CT 炸裂。检修人员对 CT 二次接线进行了详细检查，接线正确，未发现二次回路开路情况。保护动作情况见表 1。

表 1 保护动作情况

保护	序号	相对时间 /ms	动作情况
352 断路器保护	1	0	保护启动
	2	20	速断保护动作，故障相别 C 相，故障电流 33.4 A
	3	329	重合闸启动
	4	2391	重合闸动作
3 号主变压器差动保护	1	0	整组启动
	2	137	比率差动动作，故障相别为 ABC

2 事件原因分析

2.1 保护动作情况分析

35 kV 线路保护故障波形如图 2 所示。从图中可见，仅有 C 相故障电流流过线路断路器 CT。

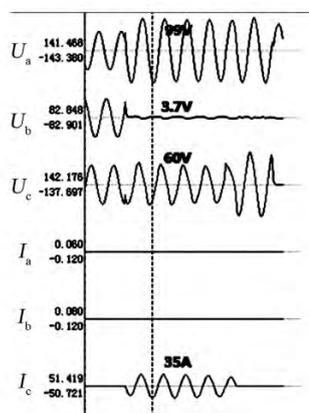


图 2 35 kV 352 断路器保护故障录波

从保护动作时序上可以看出，35 kV 某线路 352 断路器保护先于 3 号主变压器差动保护动作，故图 2、图 3 无时间重叠。图 4 为 35 kV 303 断路器故障波形图。

图 4 中：A 点为 35 kV 某处发生 BC 相接地短路

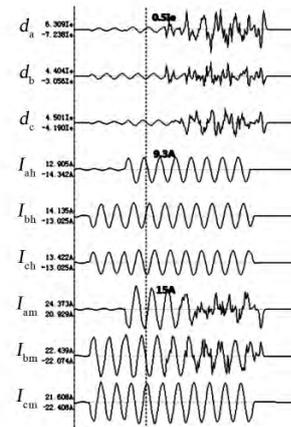


图 3 3 号主变压器差动保护故障录波

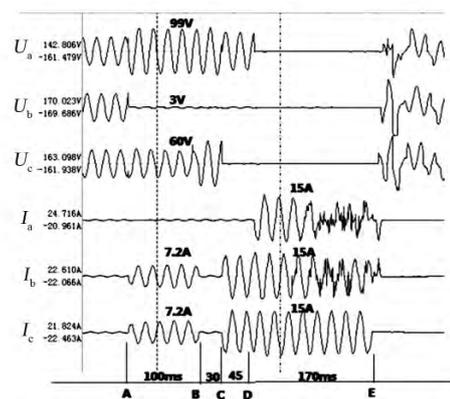


图 4 35 kV 303 断路器故障波形

的时刻；B 点为某线路故障跳闸的时刻；C 点为 35 kV 某处发生 BC 相间短路的时刻；在 D 点时发展为三相短路；E 点为 3 号主变压器差动保护动作跳三侧断路器时刻。

结合图 2 与图 4 分析 AB 段故障，电压波形一致（都是采用母线 PT 电压）但故障电流不一致，该线路仅有 C 相故障电流；但总路断路器存在 B、C 相故障电流且大小相等方向相反，符合相间短路特征。因此时仅有 A 相电压升高为线电压，B 相电压几乎为 0，C 相仍为相电压，推断为 B 相接地、同时 BC 相间非金属性短路故障（B 相接地时 C 相电压应上升为线电压，但由于 BC 相间非金属性短路产生压降）。由于 35 kV 为不接地系统，单相接地故障时不应该有故障电流。可以断定系统发生了 BC 相间故障，但 B 相故障电流没有流过该线路 B 相 CT，仅有 C 相故障电流流过了该线路 C 相 CT。由此推断 C 相故障点在该线路，B 相故障点在该线路 B 相 CT 保护区外。

BC 段因该线路跳闸后，变成 B 相单相接地故障，B 相接地故障在主变压器差动保护动作后消失，

说明 B 相单相接地故障点在 303 断路器靠主变压器侧,后现场检查发现 303 断路器 B 相 CT 炸裂,可推断此时的 B 相接地点就在此处。CD 段由单相接地发展为 BC 相间短路,DE 段由相间短路发展为三相短路故障。现场检查发现 303 断路器 CT 处三相均有灼烧痕迹,BC 相更严重,即 303 断路器 CT 为 DE 段故障点。

将故障起始时刻波形放大,如图 5 所示,35 kV 母线电压突变过程为: C 相电压波形降低,而 A、B 相电压均有向线电压升高的短暂趋势,该趋势持续约 0.5 ms,波形特征符合该线路 C 相接地故障导致 A、B 相电压升高;而 B 相电压出现峰值后迅速降低为 0,这阶段的暂态电压波形特征符合 303 断路器 B 相 CT 绝缘击穿并接地。若先是 303 断路器 B 相 CT 接地,则暂态电压波形应该为 B 相电压降低、AC 相电压升高,与实际波形不符合。所以可以推断是该线路 C 相先发生接地故障进而引起 303 断路器 B 相 CT 绝缘击穿并接地,导致 BC 相发生异地接地短路。

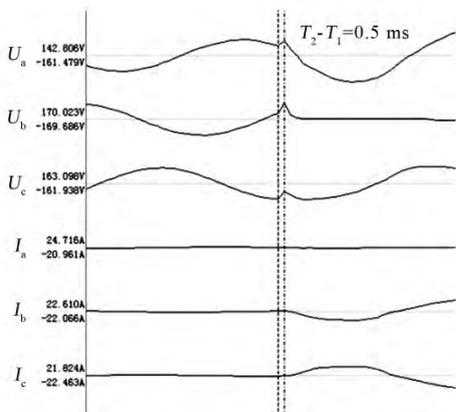


图 5 故障起始时刻 303 断路器录波

最后分析 CE 段 3 号主变压器差动保护动作情况:对于三圈变压器差动保护(PCS-9671),差动电流为三侧电流矢量和: $I_{cd} = I_h + I_m + I_l$,制动电流为 $I_r = \frac{1}{2} (|I_h| + |I_m| + |I_l|)$,低压侧无故障电流且负荷电流很小,可忽略不计。

表 2 3 号主变压器差动保护部分参数

变压器部位	变比	额定电压/kV
高压侧	600/5	110
中压侧	1200/5	38.5
低压侧	4000/5	10.5

注:变压器容量为 50 MVA。

根据表 2 计算各侧额定电流:高压侧 $I_h = 2.2 \text{ A}$,

中压侧 $I_m = 3.1 \text{ A}$,低压侧 $I_l = 3.4 \text{ A}$ 。

图 3 中虚线处高中侧差动保护同相别故障电流几乎相位相反,计算此时刻的 B 相差流值: $I_{cd} = I_h + I_m = \frac{9.3}{2.2} - \frac{14.9}{3.1} = 0.57I_e$,与保护计算差流一致^[8],制动电流值: $I_r = \frac{1}{2} (|I_h| + |I_m|) = \frac{1}{2} \times (\frac{9.3}{2.2} + \frac{14.9}{3.1}) = 4.5I_e$, $I_r > I_{cd}$,所以此时差动保护未动作,故障属于差动保护区外故障。但在差动保护跳闸前 100 ms 的波形中,可以看到中压侧差动绕组电流波形严重畸变并使得计算差流达到保护定值,保护动作出口。

综上分析,352 断路器保护及 3 号主变压器差动保护均正确动作。

2.2 一次设备分析

该站 3 号主变压器 303 断路器柜为 2012 年 3 月生产,型号 VED-40.5/1250-25,断路器柜内 35 kV 电流互感器同为 2012 年 3 月生产,型号 LZJB9-35。

从 35 kV 303 断路器柜 B 相 CT 故障照片来看,CT 内部存在多处气隙,且内部导体焊接处表面不光滑,未采取电场屏蔽处理措施,内部导体处附近的环氧树脂变色严重,疑为内部长期局部放电的结果。认定 CT 绝缘故障的主要原因为 CT 浇注工艺控制不当使内部形成多次气隙,且一次导体电场处理不均匀使其存在长期局部放电^[9]。



图 6 303 断路器 B 相 CT 炸裂现场

4 结 语

1) 该事故因 35 kV 某线路 C 相接地故障导致

变电站内3号主变压器303断路器B相CT绝缘击穿并接地,BC相发生两点接地短路故障,该线路C相故障电流达到保护动作定值,保护正确动作跳开352断路器。3号主变压器303断路器B相CT因制造工艺问题,在线路故障时绝缘击穿发生接地故障并引发主变压器差动保护区外的相间短路,因CT受损故障电流波形畸变并达到差动保护定值导致3号主变压器差动保护出口。

2) 事故CT生产工艺存在问题,内部长期局部放电,破坏本身绝缘水平。但在事故前一年的预试工作中,高压试验数据均正常,暴露出预试手段不足的缺点。

3) 事故初始分析过程中,从波形图的电压量来看,疑似发生B相接地,但C相电压仍保持正常相电压水平,且电压异常的同时303断路器B、C相有故障电流,即单相接地故障电气特征在故障录波图上没有反映,给事故分析带来一些困扰。最终将起始时刻波形放大观察发现C相接地故障先持续约0.5ms,再导致B相接地。

4) 通过计算差流的方式证明了CT故障点在差动保护范围以外。

参考文献

[1] 袁文嘉. 一起区外故障引起主变差动保护动作的分

(上接第39页)

[13] 葛廷利,宁博扬,陈金辉. 受端多端的混合直流系统输送风电的控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 191-195.

[14] Yao Z, Zhang Q, Chen P, et al. Research on Fault Diagnosis for MMC-HVDC Systems[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 8.

[15] 付强,杜文娟,王海风,等. 多端柔性直流输电中换流站的同步切换控制策略[J]. 电网技术, 2018, 42(4): 1241-1250.

[16] 孙晓云,高鑫,刘延华. 柔性直流输电换流器故障特性分析及诊断研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(2): 75-84.

[17] 李程昊,詹鹏,文劲宇,等. 适用于大规模风电并多

析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 130-132.

[2] 蒋佳. 10kV线路故障引起主变差动保护动作的分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 13-14.

[3] 尹迪迪. 220kV桂湘线跳闸故障原因分析及建议[J]. 广西电力, 2011, 34(5): 80-82.

[4] 刘建明. 一起线路跳闸造成500kV变电站交流系统失压事故的分析[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(4): 78-82.

[5] 曾新雄,李新海,曾庆祝,等. 10kV开关柜内部电弧故障的危害与保护[J]. 广东电力, 2016, 29(6): 67-71.

[6] 王义平. 主变压器变损率对电气设备潜在性故障的预判特性[J]. 广东电力, 2016, 29(6): 82-86.

[7] 王斯斯,刘宇,熊俊,等. 一起500kV电容式电压互感器电容击穿故障分析[J]. 广东电力, 2017, 30(1): 126-130.

[8] 国电南京自动化股份有限公司. WBZ-500H变压器保护装置说明书[Z]. 2006.

[9] 余剑锋,陈汝锦. 厦门500kV变电所“3·25”事故剖析[J]. 电力建设, 2000, 2(34): 125-130.

作者简介:

苟小刚(1986), 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护设备检修工作;

段然(1989), 本科, 工程师, 从事电力系统变电运行工作。

(收稿日期: 2019-10-24)

端柔性直流输电系统控制策略[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(11): 1-7.

[18] 孙文博,徐华利,付媛,等. 应用于大型风电基地功率外送的多端直流输电系统协调控制[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1596-1601.

[19] 乐波,梅念,刘思源,等. 柔性直流输电工程基本原理及概念设计[J]. 中国电机(技术版), 2014(6): 73-76.

作者简介:

周登钰(1994), 硕士研究生, 主要研究方向为高压柔性直流输电技术研究;

张新燕(1964), 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为新能源发电与并网技术研究。

(收稿日期: 2019-09-15)