

# 对一起 220 kV 母线差动失灵保护动作的分析

杜浩良,黄 健  
(金华电业局,浙江 金华 321017)

**摘 要:**某 220 kV 变电站甲 220 kV 线路乙 A 相接地故障,线路两侧双高频保护快速动作,变电站甲侧线路乙开关 A 相跳闸随后三跳,紧接着母线失灵保护动作跳开 220 kV 母联开关,最后母线差动保护 B 相动作,跳开 220 kV 正母线上的所有开关。对上述故障发展过程及保护动作行为进行了详尽、深入的剖析,并对这次复杂的、多重故障下的保护动作行为做出了“正确动作”的判断。

**关键词:**母线差动保护;母线失灵保护;多重故障

**中图分类号:**TM77 **文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2010)04-0037-04

某日凌晨 1 点 57 分,某 220 kV 变电站 220 kV 线路乙受雷击(11、12 杆塔)造成 A 相接地故障,60 ms 时线路两侧双高频保护快速动作切除故障,但变电站甲侧 220 kV 线路乙 A 相开关跳开 160 ms 后再次受雷击(即 220 ms 时),后加速保护再次动作跳开 B、C 相,310 ms 时刻乙线开关三跳。但由于开关 A 相并未断弧,故障电流持续存在,465 ms 时刻母线失灵保护动作,526 ms 时刻 220 kV 母联开关变跳位。第二次故障后 220 ms 故障发展到 B 相开关(即 440 ms 时),493 ms 时刻 220 kV 母线差动保护 B 相动作,切除 220 kV 正母上所有开关(线路丙、线路庚、线路乙、1 号主变 220 kV 开关);变电站庚侧线路庚开关跳闸,整个故障持续约 530 ms<sup>[1,2]</sup>。

## 1 故障前系统运行方式

某 220 kV 变电站甲 220 kV 系统的运行方式如图 1 所示,线路庚、线路乙、线路丙、1 号主变 220 kV 开关接 220 kV 正母运行,线路丁、线路戊、线路己、2 号主变 220 kV 开关接 220 kV 副母运行,220 kV 母联开关运行,220 kV 旁路接副母运行。其中线路丙对侧变电站丙的开关热备用,并在丙变电站侧配置有 220 kV 备用电源自投装置;线路己在变电站甲侧开关热备用、变电站己侧开关运行。

某 220 kV 变电站甲 220 kV 母线差动保护配置:深圳南瑞 BP-2B;220 kV 线路庚两侧保护配置:第一套为国电南自 PSL602GA(高频允许式保护),第二套为南瑞继保 RCS931A(光纤纵差保护),开关失灵保护及重合闸为国电南自 PSL603;220 kV 线路乙两侧保护配置:第一套为北京四方公司 CSL101A,第二套为南瑞继保 RCS901A,均为闭锁式高频保护,开关失灵保护及重合闸为北京四方 CSI101A;220 kV 线路丙两侧保护配置:第一套为北

京四方公司 CSL101A,第二套为南瑞继保 RCS901A,均为闭锁式高频保护,开关失灵保护及重合闸为 CSI101A。丙变电站的 220 kV 备用电源自投装置为南瑞继保 RCS9651C。

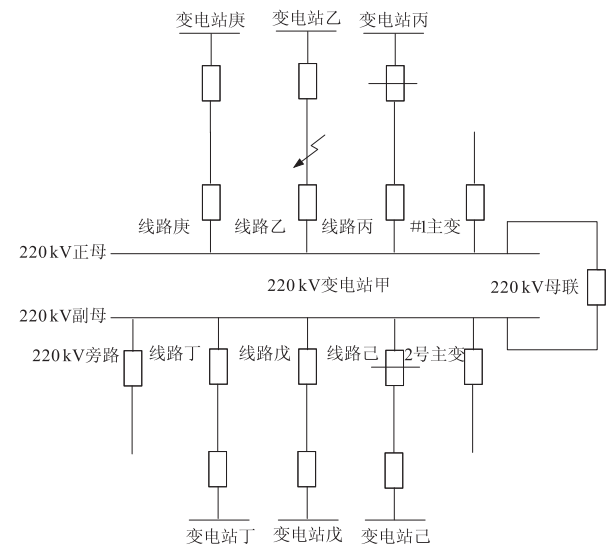


图 1 某变电站甲 220 kV 系统接线图

## 2 故障发展过程

从发生故障到故障点被隔离,持续时间共为 530 ms,根据故障发展情况大致共可分为 3 个阶段。

### (1)线路乙第一次故障

如图 2、3 所示,0 ms 时线路乙线受雷击(11、12 杆塔)造成 A 相接地故障,14 ms 时第二套高频保护(RCS-901A)动作出口,24 ms 时第一套高频保护(CSL101A)动作出口,26 ms 时操作箱“跳 A”出口,60 ms 时线路乙开关 A 相变位,隔离故障点,故障电流消失。

### (2)线路乙第二次故障

220 ms 时,线路乙第一次故障切除 160 ms 后再次遭受雷击,260 ms 时第二套高频保护动作后加速三跳,273 ms 时操作箱“跳 B”、“跳 C”出口,310

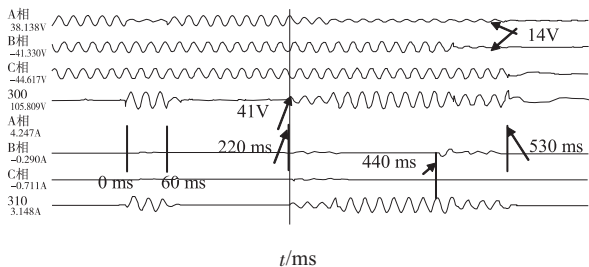


图 2 线路乙故障录波图一

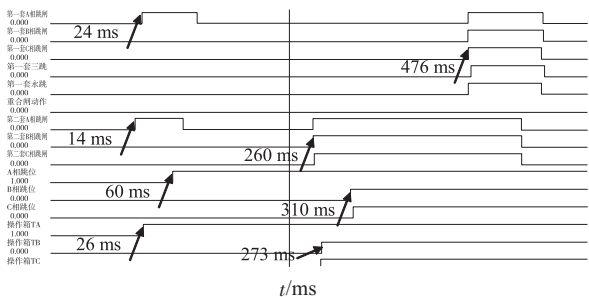


图 3 线路乙故障录波图二

ms 时开关 B、C 两相变位。而第一套高频保护未动作,原因是 CSL-101A 保护逻辑在判定故障相开关跳开经固定 400 ms 延时,才开放后加速保护,故在本次故障情况下 CSL-101A 的后加速保护来不及动作。

某 220 kV 变电站甲 220 kV 乙线 A 相开关跳开后重燃,引起某 220 kV 变电站甲侧线路乙 A 相开关击穿,开关受损情况如图 4、5 所示。



图 4 线路乙开关  
A 相受损情况



图 5 线路乙开关  
A 相受损情况

(3)线路乙线第三次故障

440 ms 时刻,某 220 kV 变电站甲 220 kV 乙线 A 相开关重燃后 220 ms,故障发展到 B 相开关,开关受损情况如图 6、7 所示,造成某 220 kV 变电站甲 220 kV 线路乙第一套高频保护(CSL101A)后加速



图 6 线路乙 B 相断口  
下部受损情况



图 7 线路乙 B 相断口  
上部受损情况

动作,476 ms 时“跳 A”、“跳 B”、“跳 C”、“三跳”、“永跳”出口跳闸(第二套保护在之前已经后加速出口跳闸)。

3 母线失灵保护动作分析

线路乙开关失灵保护 CSI101A 过流元件定值 2 A;母线失灵保护定值:复压闭锁低电压 65 V、零序电压 6 V、负序电压 5 V;失灵保护出口短延时 0.2 s (跳 220 kV 母联开关),失灵保护出口长延时 0.4 s (跳同一母线上所有出线开关)。

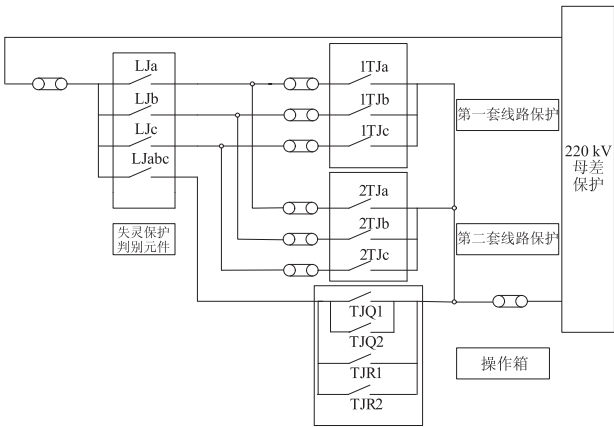


图 8 母线失灵保护启动原理

220 ms 时第二次故障开始到 530 ms 时故障结束,A 相故障电流持续存在 310 ms。如图 8 所示,线路乙的失灵保护装置(CSI101A)过流元件一直动作,故障电流保持在 40 A 左右,接点 LJ 动作不返回,第一套线路保护 CSL101A 的动作元件 1TJ 动作不返回、第二套线路保护 RCS901A 的动作元件 2TJ,线路保护动作启动母线差动失灵保护回路导通。220 kV 母线零序电压最小值达到 41 V,远远大于零序电压的 6V 定值,开放失灵保护复压闭锁,经延时 240 ms(即 465 ms)失灵保护动作如图 12 所示,跳开 220 kV 母联开关,485 ms 时母联开关跳闸出口、526 ms 母联开关跳闸变位,如图 9 所示。

220 kV 母联开关跳开后,再等待 200 ms 延时母线失灵保护跳开本母线上所有出线开关(在延时到达之前,母线差动保护已经动作跳开本母线所有开关,因此母线失灵保护第二时限未动作跳闸)。

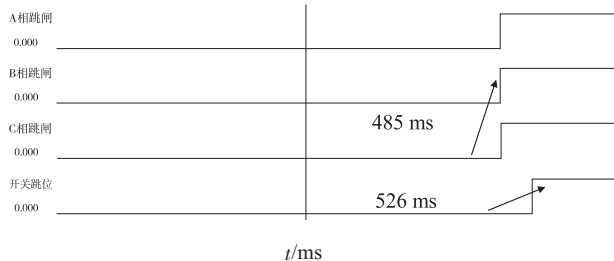


图 9 220 kV 母联开关变位录波图

4 母线差动保护动作分析

母线差动保护整定值如下：差动电流门槛高值为4 A、低值为 3 A,复式比例系数高值为 2、低值为 1,复压闭锁低电压 65 V、零序电压 6 V、负序电压 5 V。

第二次故障开始,220 kV 母线零序电压达到 41V,远远大于零序电压定值 6 V,开放母线差动保护复压闭锁;A 相差流达到 31 A、B 相差流达到 42 A,远高于母线差动保护差动电流门槛高值。如图 12 所示,493 ms 时刻 220kV 正母线 B 相差动保护延时 50 ms 动作,90 ms 后切除正母上所有开关。如图 10、11 所示,540 ms 时线路庚开关三相跳开、545 ms 时 1 号主变 220 kV 开关跳闸、551 ms 时线路丙开关三相跳开。



图 10 220 kV 线路庚开关变位录波图

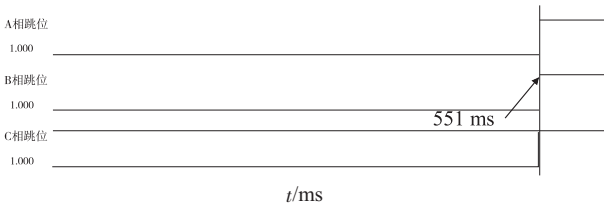


图 11 220 kV 线路丙开关变位录波

465 ms 时刻母线失灵保护动作、493 ms 时刻母线差动保护动作,分别调取 460 ms、480 ms 时刻各间隔的二次录波电流进行分析(各间隔的 TA 变比相同),1 号主变、2 号主变电流为负荷电流,相对于故障电流很小,计算时忽略 1 号主变、2 号主变 220 kV 侧负荷电流;线路丙变电站丙侧开关热备用,线路已开关热备用,无负荷电流,当然在系统故障时不提供短路电流;变电站甲侧线路乙开关三跳后,但由于开关 A、B 相未能断弧,继续往线路上的故障点注入短路电流,因此线路乙的电流为负值(流出电流),其余间隔都往故障点提供短路电流,因此电流为正值(流入电流)。460 ms 时刻各间隔的二次电流如表 1 所示,480 ms 时刻各间隔的二次电流如表 2 所示。

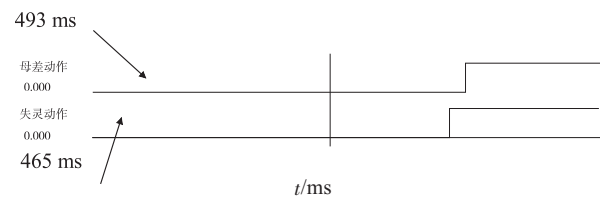


图 12 220 kV 母线差动、失灵保护录波图

BP-2B 型母线差动保护的动作为：

(1)差动电流  $I_d > I_{dset}$  ;

(2)差动电流  $I_d > K_r \times (I_r - I_d)$ 。

同时满足上述 2 个条件时开放母线差动保护。

表 1 460 ms 时刻 220 kV 正母出线电流值

相别	线路庚	线路乙	线路戊	线路丁	220 kV 母联
A 相	+30	-27	+11	+18	-29
B 相	-28	+7.5	-7	-16	22.7

相别	大差制动电流	大差制动电流	I 母制动电流	I 母线差动电流
A 相	86	32	86	32
B 相	58.5	-43.5	58.2	-43.2

表 2 480 ms 时刻 220 kV 正母出线电流值

相别	线路庚	线路乙	线路戊	线路丁	220 kV 母联
A 相	+29	-27	+11	+18	-29
B 相	-27	+7.5	-6.7	-16	22.7

相别	大差制动电流	大差制动电流	I 母制动电流	I 母线差动电流
A 相	85	31	85	31
B 相	57.2	-42.2	57.2	-42.2

5 母线差动保护 A 相不动作分析

双母线接线的母线差动保护使用大差比率差动元件作为区内故障判别元件,使用小差比率差动元件作为故障母线选择元件。即由大差比率元件是否动作,区分母线区外故障与区内故障;当大差比率元件动作时,由小差比率元件是否动作决定故障发生在哪一段母线。当母联开关处于合位时(母线并列运行),大差比率制动系数与小差比率制动系数相同,采用复式比率系数高值;当母联处于分位时(母线分列运行),大差比率差动元件自动转用比率制动系数低值。

母线差动保护中的制动电流算法为母线上所有连接元件电流的绝对值之和,即  $I_r = \sum_{j=1}^m |I_j|$  ;差动电流算法为所有连接元件电流和的绝对值,即

$$I_d = \left| \sum_{j=1}^m I_j \right|, I_j \text{ 为母线上第 } j \text{ 个连接元件的电流。}$$

从表 1、表 2 可知,各间隔二次电流有效值非常接近,下面以表 2 数据分析母线差动保护的動作情况,由表 2 可知。

A 相大差制动电流为：

$$|(+29)| + |(+11)| + |(+18)| + |(-27)| = 85 \text{ A}$$

A 相大差动作电流为：

$$|(+29)| + |(+11)| + |(+18)| + |(-27)| = |31| = 31 \text{ A}$$

A 相 I 母小差制动电流为：

$$|(+29)|+|(-27)|+|(-29)|=85\text{ A}$$

220 kV 母联开关的 TA 极性朝向 220 kV 副母, 计入小差电流时取负值, 线路乙电流为吸出电流, A 相 I 母小差动作电流:

$$|(+29)+(-27)+[-(-29)]|=|31|=31\text{ A}$$

母线差动保护的复式比例系数高值为 2, 220 kV 母联开关跳开前大差比率制动系数采用高值。此时  $K_r \times (I_r - I_d) = 2 \times (85 - 31) = 108\text{ A}$ , 远大于 A 相大差动作电流 31 A, 不满足动作条件  $I_d > K_r \times (I_r - I_d)$ , 仅仅满足条件  $I_d > I_{\text{dset}}$ , 正母线差动保护 A 相处于非动作区, 故 A 相大差复式比率差动保护、小差复式比率差动保护均未动作; 当然故障分量复式比率差动保护也未动作。

220 kV 母联开关跳开后, 母线差动保护中的大差比率制动系数采用低值。465 ms 时刻母线失灵保护动作、493 ms 时刻母线差动保护动作、526 ms 母联开关跳闸变位, 实际上在本次故障中复式比例低值系数未用于计算。

## 6 母线差动保护 B 相动作分析

B 相大差制动电流为:

$$|(-27)|+|(+7.5)|+|(-6.7)|+|(-16)|=57.2\text{ A}$$

B 相大差动作电流为:

$$|(-27)|+|(+7.5)|+|(-6.7)|+|(-16)|=|31|=42.2\text{ A}$$

B 相 I 母小差制动电流为:

$$|(-27)|+|(+7.5)|+|(-22.7)|=57.2\text{ A}$$

B 相 I 母小差动作电流为:

$$|(-27)+(+7.5)+(-22.7)|=|(-42.2)|=42.2\text{ A}$$

母联开关跳开前取用复式比例系数高值 2, 此时  $K_r \times (I_r - I_d) = 2 \times (57.2 - 42.2) = 30$ , 小于 B 相大差动作电流 42.2 A, 因此 B 相差动保护动作跳开正母线所有开关。

## 7 相关变电站保护装置动作分析

### 7.1 变电站庚线路庚开关跳闸分析

线路乙线第一次故障时, 变电站庚线路庚线路

第一套主保护(高频允许式 PSL602GA)判断为正方向故障, 保护一直起讯至某 220 kV 变电站甲 220 kV 线路乙开关 A 相跳开停讯(70 ms 时刻), 期间没有收到对侧的允许跳闸信号, 故线路庚保护未跳闸; 线路乙第二次故障时, 该保护又持续起讯, 某 220 kV 变电站甲 220 kV 母线差动保护动作启动远跳回路, 第一套高频允许式保护、第二套为光纤纵差保护(RCS931A)收到允许跳闸信号, 510 ms 时发跳 A、跳 B、跳 C、永跳令, 开关三跳不重合。

### 7.2 变电站丙 220 kV 备自投装置告警分析

正常运行方式, 线路丙对侧开关热备用, 某 220 kV 变电站甲 220 kV 母线差动保护动作跳开正母所有开关后, 变电站丙线路丙线路失压, 220 kV 备自投装置检测到线路失压, 瞬时放电装置告警信号。

## 8 结束语

综上所述, 本次故障是由于线路乙连续两次遭受雷击, 引起线路乙开关 A、B 相绝缘击穿, 虽然开关跳开, 但不能灭弧, 短路电流持续存在, 导致母线差动保护、母线失灵保护、线路庚对侧变电站保护动作跳闸。

因此, 某 220 kV 变电站甲 220 kV 线路乙两侧保护、220 kV 母线差动保护、母线失灵保护动作正确; 变电站庚线路庚保护动作正确; 变电站丙的 220 kV 备自投装置告警属于正常现象。

### 参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 1990.

作者简介:

杜浩良(1977-), 男, 浙江东阳人, 工程师, 长期从事继电保护整定计算及运行管理工作;

黄 健(1976-), 男, 浙江东阳人, 高级工程师, 从事电力系统运行管理工作。

## Analysis of 220 kV Busbar Differential Breaker Failure Protection

DU Hao-liang, HUANG Jian

(Jinhua Electric Power Bureau, Jinhua 321017, China)

**Abstract:** An earth fault on a 220 kV line's phase A in 220 kV substation is occurred, the dual pilot protection on both sides of line operated quickly. The following actions happen serially: switch of phase A trips and three trips happen continually, then the bus breaker failure protection operates to trip the 220 kV bus coupler, finally, bus differential protection operates to trip all breakers of 220 kV bus. In this paper, both the fault developing process and the protection's operation are analyzed in details, and the correct action is suggested for these complicated and multiple faults.

**Key words:** bus differential protection; bus breaker failure protection; multiple faults