220 kV 斗门变“4·11”故障及保护动作行为分析

上官帖， 谌争鸣，崔金灵

（江西省电力科学研究院，江西 南昌 330006）

摘要：220 kV 斗门变电站 2006 年 4 月 11 日因罕见的强雷电、强暴雨以及大风、冰雹交织的恶劣气象灾害，有关出线和母线先后发生故障。通过对现场设备的检查、雷电定位系统信息和相关电气量的录波，分析了故障类型、过程和产生原因，对此故障存在的疑点进行分析和排查，详细列出有关 220 kV 出线跳闸和 220 kV Ⅱ段母线失压的时间，对有关继电保护在这次故障中的动作行为进行分析，确认了继电保护在故障中的动作行为全部正确。同时针对此次故障也提出了值得总结和借鉴的事项。

关键词：故障；分析；变电站；线路；继电保护

Analysis of “April 11”fault and operation evaluation of protection in 220kV Doumen substation

SHANGGUAN Tie, CHEN Zheng-ming, CUI Jin-ling

（Jiangxi Electric Power Research Institute，Nanchang 330006，China）

Abstract: On April 11,2006，line and busbar faults happened successively in Doumen substation due to the influence of rare and bad meteorological disaster interlacing strong thunder and lightning, strong rainstorm, gale and hail. This paper analyses fault type, process and occurring causes through checking equipment on site,the information of thunder and lightning positioning system and the recording wave of electricity quantity. It analyses and excludes the questionable points of fault. It lists 220kV line tripping time and 220kV busbar section Ⅱ loss voltage time in detail. It affirms that action behaviors of relay protection in fault are all correct through analysing the action behavior of relay protection. At the same time, it also puts forward the items that are worthy of summing-up and reference.

Key words: fault； analysis； substation； line； relay protection

中图分类号： TM732 文献标识码： B 文章编号： 1003-4897(2006)24-0076-04

0 引言

2006 年 4 月 11 日傍晚，江西南昌市及周边地区遭受强对流天气袭击，出现了罕见的强雷电、强暴雨以及大风、冰雹交织的恶劣天气。地处南昌市郊的 220 kV 斗门变电站先后出现有关出线跳闸和Ⅱ段母线失压的情况。故障发生后，有关技术人员通过现场设备的检查、雷电定位系统信息和相关电气量的录波，分析了故障类型、过程和产生原因，确认了继电保护在故障中的动作行为全部正确。同时针对此次故障也还有值得总结和借鉴的事项。

1 故障简介

1.1 故障前运行方式

故障前斗门变电站的 220 kV 双母线并列运行。Ⅰ母连接#1 主变、南斗Ⅰ线、西斗Ⅰ线、斗迎Ⅰ线；Ⅱ母连接#2 主变、南斗Ⅱ线、西斗Ⅱ线、斗石Ⅱ线、斗迎Ⅱ线。

1.2 事故经过及现场检查情况

2006 年 4 月 11 日 17 时 37 分 27 秒，220 kV 斗门变西斗Ⅱ线（西郊—斗门）C 相故障（见图 1），保护发令单跳单重，重合不成功后三跳。此后 15 s（17 时 37 分 42 秒），西斗Ⅱ线 B 相发生故障，保护再次动作，发出跳三命令，西斗Ⅱ线 B 相发生故障后约 310 ms，Ⅱ母母差保护范围内发生 BC 相相间故障（见图 1），Ⅱ母双套母差保护 B、C 相差动分别动作，跳开Ⅱ母所连接元件断路器。

在现场检查发现 220 kV 西斗Ⅱ线 B 相断路器断口下部法兰有明显的放电痕迹，法兰往上第一片瓷裙有电弧烧伤现象。根据检查结果，母线三相避雷器计数器均没有动作指示。

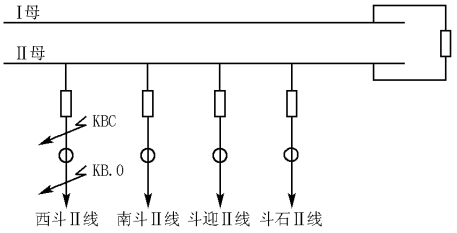


图 1 西斗Ⅱ线 B 相及Ⅱ母故障示意图

Fig.1　Schematic diagram of the fault in phase B Line Xidou Ⅱ and busbar section Ⅱ

1.3　保护动作记录

（1） 17 时 37 分，西斗Ⅱ线 C 相发生区内故障，保护单跳重合不成功三跳，西斗Ⅱ线保护动作如下：

1）901B 保护

9 ms　DZ、D++、0++、L01 动作，发跳 C 相命令；
20 ms　Z1 动作，发跳 C 相命令；
770 ms CH 动作，发重合闸命令；
861 ms CF2 动作，发跳 ABC 相命令；
883 ms CF1 动作，发跳 ABC 相命令。
故障选相为 C 相。

2）11C 保护

13 ms　1ZKJCK 动作；
15 ms　I01CK 动作；
35 ms　GBI0CK 动作；
750 ms CH 动作；
835 ms GBJSCK、ZKXJCK 动作。

（2） 西斗Ⅱ线 C 相发生区内故障后 15 s，西斗Ⅱ线 B 相发生区内故障，西斗Ⅱ线保护动作如下：

1）901B 保护

43 ms　CF1 动作，发跳 ABC 相命令；
46 ms　CF2 动作，发跳 ABC 相命令；
220 ms L01 动作，发跳 ABC 相命令。
故障选相为 B 相。

2）11C 保护

8 ms　1ZKJCK 动作；
9 ms　I01CK 动作；
159 ms JL-HB3TCK 动作；
160 ms LX-HB3TCK 动作。

（3） 西斗Ⅱ线 B 相发生故障后约 310 ms，斗门变双套母差 B、C 相差动保护启动，然后跳开Ⅱ母所连接元件断路器。此时中央信号：母差保护动作、Ⅱ母 PT 失压；220 kV 母差保护 A 套（RADSS/S）保护屏信号灯为：Ⅱ段母差、失灵跳母联；220 kV 母差保护 B 套（WMZ-41A）保护屏信号灯为：Ⅱ母电压动作、Ⅱ母差动动作。

1.4　雷电活动查询情况

通过设在江西省电力科学研究院的雷电定位信息中心站的查询显示：4 月 11 日 17 时 36 分 53 秒，在西斗Ⅱ线＃48 杆附近（距变电站约 1.6 km）有雷击现象，约 15 s 后（即 17 时 37 分 08 秒），西斗Ⅱ线＃49 杆附近同一点（距变电站约 1.3 km）在较短的时间内，连续 3 次发生雷击，雷击点 GPS 经纬度相同。以上时间是雷电中心站查询的时间，其绝对时间值与保护记录的故障时间略有出入，但两者相对时间完全一致。

1.5　故障存在的疑点

1） 西斗Ⅱ线先后两次故障是否均为雷击引起。

2） 西斗Ⅱ线的 B 相故障电流反映应是线路故障，但从时间推断，B 相故障确实在重合闸失败三相开关跳开后出现的。

3） 斗门变母差保护是否正确动作。特别是微机母差的打印报告上反映 B 相电流不正常，需要对母差保护的动作行为作判断。

2　220 kV 西斗Ⅱ线故障原因分析

根据现场情况、继电保护动作记录和雷电活动查询结果对该断路器外绝缘损坏情况进行分析，220 kV 西斗Ⅱ线继电保护动作的两次动作的时间差与雷电定位系统查询结果的时间差相同，均约 15 s，故判定前后两次故障均是由雷击引起的。后经过运行单位人员巡线发现，220 kV 西斗Ⅱ线＃48 杆 C 相及＃50 杆 B 相绝缘子有闪络痕迹。17 时 37 分 27 秒，西斗Ⅱ线因雷击发生 C 相故障，C 相跳闸后重合不成功跳三相。此时断路器已处在断开状态，该线路两侧断路器均处于热备用状态。

约 15 s 后（17 时 37 分 42 秒），在距变电站约 1.3 km 处，西斗Ⅱ线 B 相连续遭受三次雷击，三次雷击点 GPS 坐标完全相同。220 kV 西斗Ⅱ线为单避雷线保护方式，导线容易遭受雷击，雷电波沿线路入侵到西斗Ⅱ线 B 相断路器断口处，雷电波反射，与前进波叠加，电压突升至原电压的两倍，产生很高的过电压，由于断口几何尺寸小于断口底部对地的几何尺寸，断路器断口外绝缘低于对地绝缘，雷击时空气潮湿，断路器断口外绝缘比较薄弱。因此，断口的过电压击穿断路器断口外绝缘。同时，由于线路连续遭受雷击，雷击点线路同时接地，母线通过 B 相断路器外绝缘向接地点供电，故障电流通过

断口外绝缘，致使断口下部的法兰和法兰上一片瓷裙损伤。

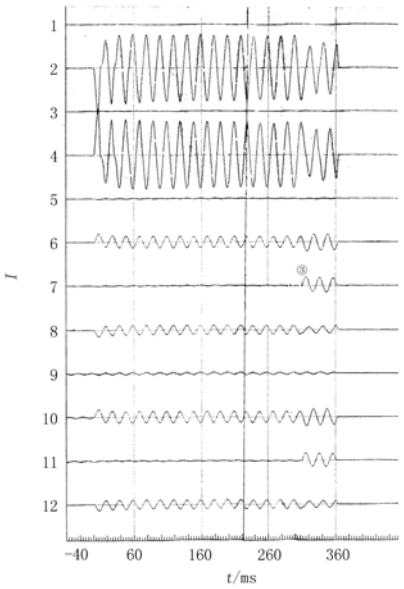
3 继电保护动作行为分析

通过现场设备的检查、雷电定位系统信息和相关电气量的录波分析，我们认为故障当时先后发生了三种类型的故障。以下是当时分别发生的三种类型故障时的保护动作行为分析：

3.1 西斗Ⅱ线C相区内故障

依据 YS-88A 微机故障录波器所录故障波形，可知 901B 和 11C 保护动作正确。

3.2 西斗Ⅱ线B相发生区内故障



注：图中③为Ⅱ母BC相间故障及母差保护启动点

1	电流	西斗 II 线	I_a
2	电流	西斗 II 线	I_b
3	电流	西斗 II 线	I_c
4	电流	西斗 II 线	$3I_0$
5	电流	南斗 II 线	I_a
6	电流	南斗 II 线	I_b
7	电流	南斗 II 线	I_c
8	电流	南斗 II 线	$3I_0$
9	电流	斗石 II 线	I_a
10	电流	斗石 II 线	I_b
11	电流	斗石 II 线	I_c
12	电流	斗石 II 线	$3I_0$

图 2 西斗Ⅱ线B相及Ⅱ母故障录波图

Fig.2 Recording wave curve of the fault in phase B line Xidou Ⅱ and busbar section Ⅱ

保护采样数据显示，$3I_0$ 超前 $3U_0$ 相角 150°（5个采样点），可判断出 B 相故障点在斗门变西斗Ⅱ线正方向。

依据 YS-88A 微机故障录波器所录故障波形（见图 2），可知 901B 和 11C 保护动作正确。

3.3 II 母 B、C 相相间故障时，母差保护动作分析

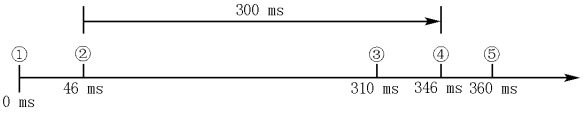
从图 2 可见，西斗Ⅱ线 B 相故障后约 310 ms，系统又发生了 B、C 相相间故障。从 WMZ-41A 母差保护故障报告看，Ⅱ母 B、C 相差动保护均动作。由故障绝对时间和动作时的相对时间分析，微机母差保护记录的故障时刻应在 B、C 相相间故障发生时刻。我们分析认为，西斗Ⅱ线 B 相故障发生至 310 ms 时，在此期间双套母差保护并未动作；当发生Ⅱ母 B、C 相间故障后，母差保护才动作；西斗Ⅱ线 B 相发生区内故障时，尽管 901B 和 11C 保护发出了三跳命令，因 B 相断路器是其断口外绝缘发生闪络，故障电流无法被切除，再经 300 ms（失灵保护跳母联时间定值）延时，A 套母差失灵保护动作，发出跳母联命令（按运行规定只投入一套失灵保护，故 B 套母差失灵保护未投入）。从 YS-88A 微机故障录波器所录故障切除情况来看，Ⅱ母所连接元件故障电流同时被切除。因此，我们认为，故障最终由母差保护切除，故障切除时间约 50 ms。

需要指出的是：当西斗Ⅱ线 C 相和 B 相先后分别发生故障时，实际上对双套母差的 C 相和 B 相差动回路进行了一次检验，由于在西斗Ⅱ线 C 相和 B 相故障期间，双套母差没有发生任何误动，双套母差的装置和相关回路经受住了实际故障电流的考验。因此，我们认为：当 B、C 相相间故障时，母线差动保护动作行为无庸质疑，否则双套母差在前面的C相和B相先后分别发生故障时，就应该误动。由此可认定 B、C 相间故障的故障点应在母差保护范围内。从录波图分析可知，因西斗Ⅱ线 C 相两侧断路器均断开，B、C 相相间故障时，母差保护 C 相差动中的西斗Ⅱ线无电流。西斗Ⅱ线 B 相还有电流则是因为通过 B 相断路器断口外绝缘闪络，向西斗Ⅱ线故障点提供短路电流。在双套母差动作切除故障时，实际上是母差保护范围内 B、C 相间故障与西斗Ⅱ线 B 相故障共同存在。因此，双套母差的动作是正确的。

通过仔细分析 WMZ-41A 微机母差保护故障报告可见，在故障报告中，微机母差保护启动后，西斗Ⅱ线回路的 B 相电流为零，但西斗Ⅱ线的线路保护和线路录波所反映的 B 相故障电流一直存在，直到母差保护动作将母联及Ⅱ母上的所有开关跳开切除故障。实际情况是当时西斗Ⅱ线的 B 相故障和

变电站Ⅱ母 BC 相间故障同时存在，西斗Ⅱ线 B 相电流是不可能为零的，西斗Ⅱ线的线路保护和线路录波所反映的 B 相故障电流一直存在，C 相故障电流一直为零是符合实际情况的。出现这种情况的原因：一是微机母差保护装置或相关 B 相电流回路出现问题；二是微机母差保护打印显示不正确。先分析前一种情况，如果是装置或回路出现问题，那么在西斗Ⅱ线发生B相故障时，母差保护将立即动作，实际情况并非如此。另一种可能就是微机母差保护打印显示不正确，故障报告中的 B 相电流值实际是其它相电流值。我们进一步查看 WMZ-41A 微机母差保护故障报告又发现，故障报告各交流采样值每周波 24 点，打印输出 4 个周波共 96 点，所有 C 相电流和 B 相电流采样值分别打印输出，C 相电流和 B 相电流报告中除个别量有正、负号差别外，其余完全一致。因此，我们认为微机母差保护故障报告中的 B 相电流采样值实际上还是 C 相电流采样值。通过我们分析并得到制造厂家的确认，由于该微机母差保护的版本较早，在出现斗门变“4.11”故障情况时，先 C 相故障，不久又发生 B 相故障，然后再发生 BC 相间故障，这时打印显示的 B 相电流采样值实际还是 C 相电流采样值，这就和故障当时的实际情况相一致。

综上所述，西斗Ⅱ线 B 相及Ⅱ母故障出口时序图如图 3。



注：① 西斗Ⅱ线 B 相故障
② 西斗Ⅱ线保护出口
③ 斗门变Ⅱ母范围内 BC 相间故障，A、B 套母差启动
④ A 套母差失灵跳母联出口
⑤ 母差保护跳母联及Ⅱ母上所有开关

图 3 西斗Ⅱ线 B 相及Ⅱ母故障出口时序图

Fig.3　Time sequence diagram of the fault in phase B Line Xidou Ⅱ and busbar section Ⅱ and the protection action

4　结论及建议

通过以上分析，我们可以得出以下结论和建议。

1）西斗Ⅱ线先后两次故障均为雷击引起。通过雷电定位系统查询以及实际线路巡线均再次证实了这一点。

2）西斗Ⅱ线的 B 相故障确实在重合闸失败三相开关跳开后出现的。其原因是西斗Ⅱ线几乎同时多次落雷，由于连续遭受雷击，雷击点线路同时接地，母线通过 B 相断路器外绝缘向接地点供电。

3）斗门变双套母差保护正确动作。西斗Ⅱ线的线路保护及失灵保护也全部正确动作。其中微机母差保护的打印显示有问题，特定条件下会出现打印显示和实际相别不一致的情况。

4）在分析母差保护动作行为时，要充分利用母差保护在区外故障下的动作行为。因为通过实际故障电流考验母差保护和相关回路是最可靠，也是最有说服力的。

5）对于配置有双套母差保护的，分析保护动作行为时要注意两套保护是否完全一致，要充分考虑两套保护同时出现同样问题的可能性是比较少见的。

6）线路由于跳闸后断路器处于热备用状态，如果此时雷电波入侵，容易击穿断口绝缘导致断路器损坏，甚至导致失灵保护动作。建议在多雷地区变电站出线侧装设避雷器，防止类似的情况再次发生。

7）要完善变电站防止雷电波入侵措施，220 kV 线路进站前两公里线路应架设双避雷线，减少雷电绕击导线概率。

8）早期的微机保护在打印显示可能出现一些问题，制造厂家要及时提供升级服务。运行单位在分析故障时也要心中有数。有些问题可以通过仔细分析和试验得到证实，提请制造厂家加以解决。

参考文献

[1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术（第二版）[M]. 北京：中国电力出版社，1997.
ZHU Sheng-shi. Relay Protection Theory and Techniques in High-voltage Power Network,Second Edition[M].Beijing:China Electric Power Press,1997.

[2] 王春生, 等. 母线保护[M]. 北京：中国电力出版社，1987.
WANG Chun-sheng, et al.Busbar Protection[M].Beijing:China Electric Power Press,1987.

收稿日期：2006-07-17；　修回日期：2006-10-18

作者简介

上官帖（1958-），男，教授级高工，长期从事继电保护专业技术工作;E-mail:sgtnc@163.com

谌争鸣（1957-），男，工学硕士，主要从事继电保护的技术工作。

崔金灵（1974-），男，工程师，从事高电压工作。