

# 一起 220 kV 线路发展性故障跳闸分析

潘茗, 张静伟, 金滇黔, 易淑智

(广东电网公司韶关供电局, 广东 韶关 512026)

**摘要:** 分析了一起 220 kV 输电线路非典型发展性故障开关跳闸的一系列异常现象, 此次跳闸后保护的動作情况比较复杂, 表面现象扑朔迷离, 甚至根据录波图看来保护有誤动的嫌疑。然而, 根据 LFP-901 和 LFP-902 的原理和故障时的录波图, 对这些现象一个个去分析, 论证了本次保护动作为正确動作。

**关键词:** LFP-901; LFP-902; 发展性故障; 录波图

## Analysis of a 220 kV line trip caused by the developing fault

PAN Ming, ZHANG Jing-wei, JIN Dian-qian, YI Shu-zhi

(Shaoguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, ShaoGuan 512026, China)

**Abstract:** This paper analyzes a series of abnormal phenomena during the trip of a 220kV line caused by the developing fault. The action of delay protection is so complex that no one could tell the truth at once. But according to the logic of LFP-901, LFP-902 and the fault diagram, the answer became more and more clearly. It is proved the action of the unit is right at last.

**Key words:** LFP-901; LFP-902; developing fault; fault diagram

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)23-0105-04

## 0 引言

220 kV 及以上电网的线路继电保护一般都采用近后备原则, 当故障元件的一套保护装置拒动时, 由相互独立的另一套继电保护装置动作切除故障, 即保护的双重化配置。根据相关规定, 这两套保护应是原理上不同的两套保护, 以弥补相互的缺点, 保证任何复杂的故障下都能迅速、正确的切除故障。两套保护一般采用一个厂家生产的设备, 不同厂家设备存在配合上的问题, 实现起来比较麻烦<sup>[1]</sup>, 南自所生产的 LFP-901 和 LFP-902 原理成熟, 逻辑可靠, 在早期的 220 kV 线路保护上得到了广泛的应用<sup>[2,3]</sup>。

## 1 事故简述

某 220 kV 线路采用双重保护配置(图 1 所示), 主一为 LFP-901 (以下简称 901), 主二为 LFP-902 (以下简称 902), 两套均采用高频通道。2007 年 12 月 16 日 13 时 32 分, 该线路 C 相对树木放电, 发生高阻接地故障, 线路跳闸。A 侧保护动作情况为 901 高频保护出口但没有报文, 保护跳 A、跳 B、跳 C 灯亮, 操作箱跳 A、跳 B、跳 C 灯亮; 902 只

有起动报告, 保护未出口。B 侧保护动作情况为 901 高频零序方向元件 0++保护经 3416 ms 动作出口, 故障相别判为 C 相, 并发跳闸脉冲, 后备元件保护 HB2 经 5996 ms 动作, 跳开三相开关。902 只有起动报告, 未出口, 跳闸灯不亮。两侧的录波图如图 2、3 所示(未有变化的开关量由于篇幅, 图中未画出)。

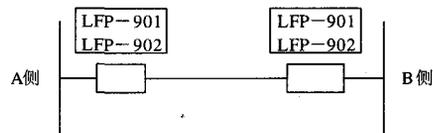


图1 某220kV线路保护配置

Fig.1 The relay protection of 220 kV line

保护动作后, 运行人员迅速检查现场设备并上报相关人员, 继保人员经过分析, 提出了以下几点疑问:

疑点 1: 线路两侧均由 901 保护动作切除故障, 902 只有收发信, 并未出口, 而 901、902 两种保护仅在主保护上逻辑有所不同, 后备保护配置和原理均相同, 为何两种保护动作不一致? A 侧 901 保护装置未有任何保护动作报文, 但是保护出口灯亮,

操作箱的跳闸灯亮？

疑点 2: A 侧三跳后, B 侧 901 先跳开 C 相, 但未重合, 延时后三跳, 保护发 HB2 动作 (当时 901 投单重方式), 根据定值单判断, 单相跳开后应起动重合闸。

疑点 3: 从录波图上看, B 侧 C 相跳开是 901 保护出口, 但是保护发了两次跳闸脉冲, 为何出现这样的结果？

下面带着这几个疑问, 根据有关的文献资料和 LFP-900 系列保护的说明书, 对这些现象逐一解释。

## 2 疑点解释

### 2.1 疑点 1 解释

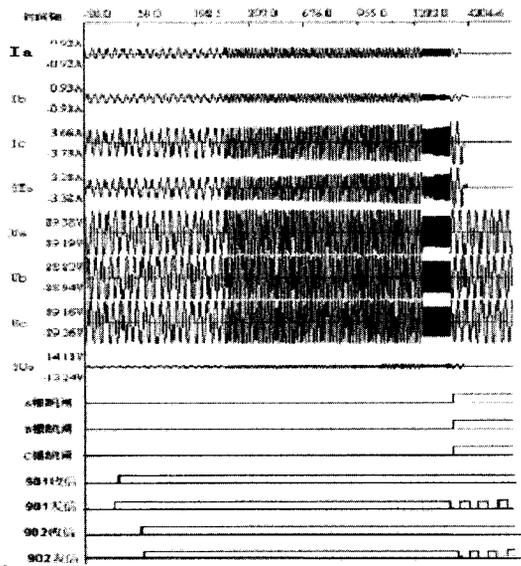


图2 线路A侧录波图  
Fig.2 The diagram of side A

由录波图可以看出, 发生故障的是 C 相, 且 C 相电压下降不多, 故障相电流和零序电流均不大, 呈现出明显的高阻接地现象, 因此母线电压并未发生明显的畸变。在起动元件起动前, C 相故障已经存在, 也即为逐渐发展性故障。查阅 A 侧的定值, 零序过流 III 段定值为 1 A, 零序起动元件定值也为 1 A, 但由于定值中“零序过流 III 段经方向判别投入”置 1, 零序方向过流定值  $L_{0f}$  为 2 A, 因此, 零序电流达到 2 A 零序过流 III 段方可开始计时。901 录波图 2 660 ms、902 录波图 2 655 ms 时停信, 也即在此时, 两套保护零序正方向元件动作, 但由于故障发展比较缓慢, 零序电流在 2 A 附近保持了一段时间, 造成零序方向元件动作出现反应, 表现在发信上时发时停, 且持续了 1.6 s 以上, 期间 B 侧纵联方向元件未停信, 收信未返回, 纵联零序保护

不能动作。当零序方向元件动作后, 零序 III 段才开始计时, 定值中零序过流 III 段时限为 3.6 s, 从录波图上看, 零序电流超过 2 A 的持续时间约为 3640 ms, 因此, 保护跳闸是由零序 III 段动作。这段时间经历较长, 保护整组一直未复归, CPU3 来不及整理报告, 因此在报文中未能显示 (见疑点三解释)。901 和 902 保护起动元件虽然相同, 但保护的电流回路互相独立, 这就造成了两套保护的灵敏度略有差异。901 起动元件较 902 早, 同样零序正方向也早于 902。随着故障的发展, 901 零序 III 段计时先到, 先于 902 动作, 并停信。

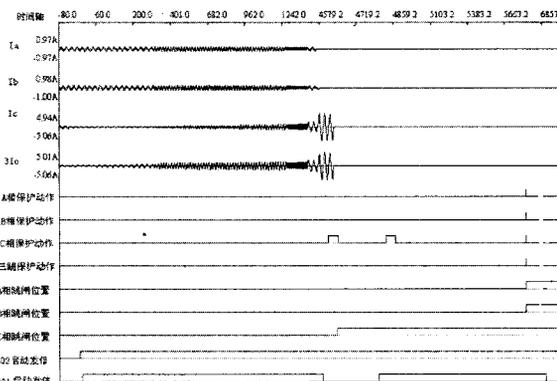


图3 线路B侧录波图  
Fig.3 The diagram of side B

### 2.2 疑点 2 解释

LFP-900 系列选相逻辑<sup>[4]</sup>为相电流差突变量选相元件。选相方法是当仅两个继电器动作, 选与两个继电器直接相关的相为故障相, 例如工频变化量  $\Delta I_{CB}$  与  $\Delta I_{CA}$  动作选 C 相, 如三个元件都动作时, 选为多相故障, 并与输出电流为最大的相间作为工频变化量距离和方向继电器的计算相, 继电器的测量判据如下:

$$\Delta I_{\phi\phi} > 1.125\Delta I_{T\Phi\Phi} + m \times \Delta I_{\phi\phi} \max + 0.2I_N$$

$\Delta I_{\phi\phi}$  是三个电流输出的最大值记忆值, 并取其一部分作为制动值, 有效地防止了单相故障时非故障相的误动, 其制动系数  $m$  考虑了系统正负序阻抗不等而非故障相间可能产生的最大不平衡分量, 同时还保证了两相经过渡电阻故障的最不利条件下不漏选相。 $\Delta I_{\phi\phi}$  带记忆, 可保证当本侧断路器选相跳开后, 对侧后跳闸过程中本侧非故障相选相元件不误动。

在 A 侧开关跳开前, 高定值应满足  $\Delta I_{\phi\phi} > 1.125\Delta I_{T\Phi\Phi} + 0.2I_N$  方可进入故障测量程序, 继电器测量元件要满足  $\Delta I_{\phi\phi} > 1.125\Delta I_{T\Phi\Phi} + m \times \Delta I_{\phi\phi} \max + 0.2I_N$  方可进行选

相,即 $\Delta I_{\phi\phi}$ 至少要大于 2.125 A 以上( $I_N$ 为 5A,高定值为 1A),而从实际的电流值看(表 1、2、3) B 侧始终未满足这一条件,只有当 A 侧零序 III 段动作后,开关跳开,助增消失,C 相电流、零序电流突然增大,两套保护的方向元件均动作停信,因

连续收信大于 35 ms,进入功率倒向逻辑,方向比较保护延时 20 ms 方能动作,所以纵联零序保护 0 十十于 3 416 ms 动作跳开 C 相。而 902 保护由于 A 侧未动作停信,虽本侧停信,但收信一直未返回,故主保护未动作。

表 1 B 侧电流

Tab.1 The currents of side B

	-20ms	0ms	20ms	40ms	60ms	80ms	80ms	100ms	120ms	140ms	160ms	180ms
$I_a$	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
$I_b$	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
$I_c$	0.27	0.28	1.78	3.40	4.66	5.60	6.25	6.81	7.24	7.57	7.91	8.15
$3I_0$	0.25	0.27	1.78	3.42	4.68	5.63	6.27	6.83	7.27	7.60	7.94	8.18

表 2 B 侧相电流差  $\Delta I_A$ 、 $\Delta I_B$  与  $\Delta I_C$

Tab.2 The difference current of side B for  $\Delta I_A, \Delta I_B$  and  $\Delta I_C$

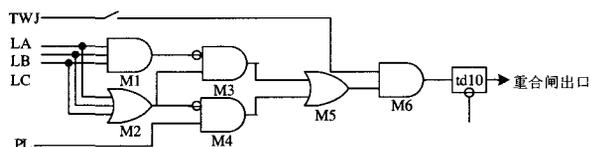
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta I_A$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta I_B$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta I_C$	0.01	1.50	1.62	1.26	0.94	0.65	0.56	0.34	0.33	0.34	0.24

表 3 B 侧相电流差  $\Delta I_{AB}$ 、 $\Delta I_{BC}$  与  $\Delta I_{CA}$

Tab.2 The difference currents of side B for  $\Delta I_{AB}, \Delta I_{BC}$  and  $\Delta I_{CA}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta I_{AB}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta I_{BC}$	-0.01	-1.50	-1.62	-1.26	-0.94	-0.65	-0.56	-0.34	-0.33	-0.34	-0.24
$\Delta I_{CA}$	0.01	1.50	1.62	1.26	0.94	0.65	0.56	0.34	0.33	0.34	0.24

901、902 重合闸逻辑如图 4 所示。



TWJ: 跳闸位置继电器,任一相跳闸位置继电器动作时, TWJ 动作;  
 $L_A$ 、 $L_B$ 、 $L_C$ : 分别为 A、B、C 相的低定值 ( $0.06I_n$ ) 过流元件;  
 $P_L$ : 低功率运行标志,当正常运行电流小于  $0.1I_n$  时,置  $P_L$  标志。

图 4 900 系列保护重合闸逻辑

Fig.4 The recloser logic of 900 protection

单相重合闸时,首先由电流判断是否单相运行。M2 动作表明至少一相有流, M1 不动作表明至少有一相无流,于是 M3 动作表明为单相跳闸,从而开放单相重合闸;另外,当正常运行时检查为轻负荷状态有  $P_L$  标志时,三相即使全无电流 ( $<0.06I_n$ ) 而 M2 不动作;仍可由 M4 开放单相重合闸。另外,重合闸的起动还须有跳闸固定或跳闸位置继电器 TWJ 动作而起动。本次事故中, B 侧 C 相跳开后, A 侧发生三跳,  $L_A$ 、 $L_B$ 、 $L_C$  均置 0,而此时又未有  $P_L$  标志, M3、M4 均无法动作,造成重合闸失败,

故 B 侧跳开 C 相后未重合,延时后由 HB2 动作跳开三相。(HB2: 后备元件动作,包括以下三种情况: ①有速跳元件动作,但选相失败,延时 150 ms 三跳。②线路两相已经跳开,仅存一相运行时,延时 100 ms 三跳。③单重方式时,对侧三跳,本侧单跳不能重合,经单重时间再延时 2 s 三跳。) B 侧 C 相于 3 416 ms 跳开, A、B 相约在 6 500 ms 跳开,间隔 3 s 多(重合闸 1 s + 延时 2 s + 开关动作时间)也论证了这一结果。

### 2.3 疑点 3 解释

LFP-901、902 保护均设有三个 CPU, CPU1 为装置的主保护, CPU2 为三段式相间和接地距离保护以及重合闸逻辑, CPU3 (即 MONI) 为起动和管理元件,内设整机总起动元件,该起动元件与方向和距离保护在电子电路(包括数据采集系统)完全独立,动作后开放保护出口电源。另外 CPU3 还作为人机对话的通信接口。保护整组复归后, CPU3 接受并整理、显示、打印 CPU2 来的电压电流信号,进行测距计算。当系统发生故障或扰动,保护的三个 CPU 独立启动,整组复归后 CPU1、CPU2 将动作元件、相对各自启动时刻的相对时间、录波数据

等发送至 CPU3, 由 MONI 以自己的起动时刻为基准, 整理 CPU1、CPU2 的信息并形成跳闸报告。由于 CPU1、CPU2 无实时时钟, 所以只能传送相对时间。当系统在故障前有轻微扰动时, 因三个 CPU 灵敏度不同可能会出现起动时刻不一致的现象, 导致 MONI 收集到的 CPU 动作信息在时间上出现了偏差。当 MONI 将各 CPU 以不同起动时刻的动作元件及相对时间整理时, 若 CPU1 启动较 MONI 和 CPU2 早, 则 CPU 的波形会被后移, 表现在录波图上则是保护发了两次跳闸信号, 第一次是 CPU1 传给 CPU2, 并由 CPU2 按照自己的起动时刻整理后发给 MONI, 第二次是直接由 CPU1 按照自己的起动时刻整理后发给 MONI, 所以出现了两次 C 相合闸脉冲。

### 3 结语

至此, 整个跳闸结果变得清晰, 跳闸报告中一系列问题也得以解释。早期的 LFP 系列的保护装置在处理过渡性电阻接地短路时灵敏度不高, 在其它一些文献中也提到过类似的现象, 即当线路单相接地时, 由于起初故障电流较小, 不足以起动主保护, 故障继续发展或突变时, 由后备保护来切除。后期的 RCS 在原理上加以改进, 目前未见有类似情况出现。文中提到的发两次跳闸脉冲、保护未有报文即出口等现象比较少见, 在此提出供同行借鉴。

(上接第 104 页 continued from page 104)

级的 PR 类电流互感器较 P 类互感器略贵, 从提高继电保护正确动作率及经济两方面考虑, 应在电网中积极推广使用 PR 类电流互感器。

3) 建议微机保护生产厂家借鉴微机母线保护的做法, 在线路保护、变压器保护中也采取抗电流互感器饱和措施, 确保继电保护装置正确动作。

4) 电流互感器 10% 误差曲线现场测试及二次负载阻抗校核与设计时正确选择电流互感器参数同样重要。近几年继电保护技术监督检查及新建变电站、机组投运前验收检查发现, 不论是供电公司还是电厂, 都没有开展电流互感器 10% 误差曲线现场测试与二次负载阻抗校核工作。此项工作技术难度并不大, 没有开展此工作, 专业技术管理不到位是根本原因, 因此应该引起我们的充分重视。

### 参考文献

- [1] 林榕, 曹树江. CSL1 01 与 LFP-901 线路保护重合闸应用问题的分析[J]. 电网技术, 2003, 27(10):78-81.  
LIN Rong, CAO Shu-jiang. Analysis of Application of Auto-Reclosures Provided By Line Protections CSL-101 And LFP-901[J]. Power System Technology, 2003, 27(10):78-81.
- [2] 李字芹, 刘洪义, 刘洪涛, 等. LFP-901 型微机保护在哈尔滨电业局所辖变电所中的应用[J]. 黑龙江电力, 2003, 25(5):401-402.  
LI Zi-qin, LIU Hong-yi. Application of LFP-901 Microprocessor Protectors at Substations Under Harbin Electric Power Bureau[J]. Heilongjiang Electric Power, 2003, 25(5):401-402.
- [3] 曹树江, 朱辉. LFP-901 和 LFP-921 保护在河北南网的运行分析[J]. 电网技术, 2000, 25(5).  
CAO Shu-jiang, ZHU Hui. Analysis of Operation of Protective Devices LFP-901 And LFP-921 IN South Hebei. Power System[J]. Power System Technology, 2003, 25(5).
- [4] LFP-901A (B、D) 型超高压线路成套快速保护装置技术说明书[Z]. 国家电力公司电力自动化研究院继电保护研究所, 1998.

收稿日期: 2008-02-21

作者简介:

潘茗 (1980-), 女, 助理工程师, 从事变电站运行工作,

E-mail: gxysmd@163.com

张静伟 (1981-), 男, 硕士研究生, 从事继电保护工作。

### 参考文献

- [1] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 景敏慧, 孔霄迪, 覃松涛, 等. P 类电流互感器饱和原因分析及对策[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21): 94-97.

收稿日期: 2008-09-16;

修回日期: 2008-10-15

作者简介:

郭耀珠 (1964-), 女, 高级工程师, 从事电力系统继电保护工作; E-mail: gyaozhu@hncpri.com

石光 (1971-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护管理工作;

刘华 (1955-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护管理工作。