



## 2 事故经过

2007年1月20日0时28分,安顺电厂#2锅炉因煤质差、燃烧不稳定熄火,甩负荷250 MW,机组MFT保护动作跳#5021、#5022断路器。在跳闸过程中,#5021断路器的三相跳开,#5022断路器的B相经过多次分—合一分后分闸不成功。#5022断路器失灵保护在启动后778 ms出口跳#5023断路器,同时发远跳令。安顺变电站安电I线辅助保护收到远跳命令后,经“二取二”有判据出口跳#5011、#5012断路器,从而将安顺电厂#2机组彻底与系统隔离。在整个过程中保护动作行为的正确性,尤其是失灵保护动作的正确性是关注的焦点。

安顺变电站#5011、#5012断路器跳开后,检查发现安电I线的C相尚有电压,后检查发现安顺电厂#5023断路器的C相也拒动。

## 3 断路器拒动的原因

事故发生后,现场对两台故障断路器进行了全面的检查。通过对安顺电厂#5022、#5023断路器的解体,发现#5022断路器的B相和#5023断路器的C相液压操作机构分闸一级阀卡滞,使得一级阀处高压油泻放阀口(H4)打不开,造成二级阀不能动作,从而使高压油补油阀口(H3)不能关闭,继而造成工作缸(E)侧的高压泻放阀口(H2)未打开,造成断路器拒分,见图2。而卡滞的原因是由于液压油长期运行后,常压油箱脏污未及时清洁,造成整个液压油动作回路留有大量的杂质,杂质引起一级阀、二级阀在动作中卡滞。

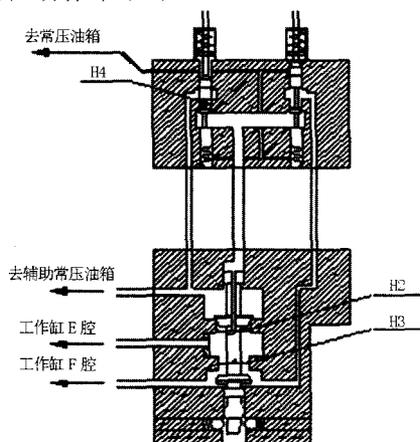


图 2 LW12-500 开关液压机构原理图

Fig.2 Hydraulic mechanism principle of LW12-500 breaker

从录波图3可以看出,除#5022的A相一次分闸成功外,#5021的A、B、C三相和#5022的B、

C两相均反复进行了多次分闸—合闸—分闸的过程,#5021的三相和#5022的C相最后均分闸成功,#5022的B相进行了六次分合闸,最后一次分闸后因液压机构储存的能量消耗太多,没能力再分闸,导致拒分。LW12-500型断路器的连续多次分合的情况在国内其它地方也发生过<sup>[11]</sup>。

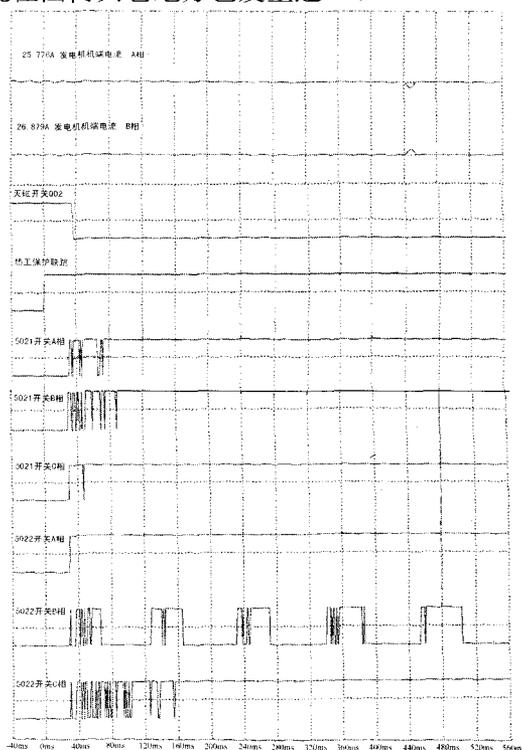


图 3 安顺电厂 MFT 动作后机组故障录波打印的波形

Fig.3 The fault records of the second generator and 500kV circuit breakers after the MFT protection tripping in Anshun Power Plant

## 4 保护动作分析

### 4.1 保护配置

安电I线路保护配置见图4。安顺电厂#5021、#5022、#5023断路器保护均为LFP-921A,安顺变电站#5011、#5012断路器保护均为CSI-121A。

### 4.2 动作分析

此次事故收集到的主要资料有:安顺电厂机组的故障录波、#5022和#5023断路器保护装置的打印报告;安顺变电站安电I、II线的故障录波和主一保护装置的打印报告、安电I线辅A保护的打印报告、#5011和#5012断路器保护装置的打印报告以及辅B保护的打印报告。

从安顺电厂机组故障录波的开关量来看,#5022断路器的B相进行了六次分合闸过程,图3的录波

图上可以看到 5 次, 为了便于了解#5022 断路器 B 相的 6 次分合闸过程, 图 5 根据安顺电厂的录波信息重新进行了描绘。

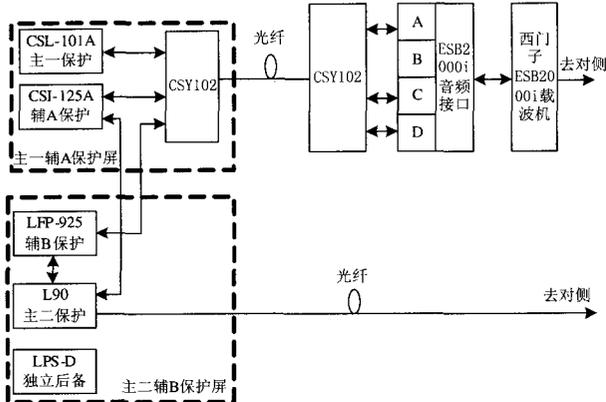


图 4 安电 I 线线路保护配置及通道联系图

Fig.4 Scheme and communication of An-Dian I line protections

安顺电厂#5022 断路器保护 LFP-921A 打印的动作信息为: 406 ms ABC LTst; 778 ms ABC TST, TSL。从#5023 断路器保护 LFP-921A 的打印报告的波形上看, 455 ms 收到跳闸命令, 490 ms 断路器跳开后收回跳闸命令。

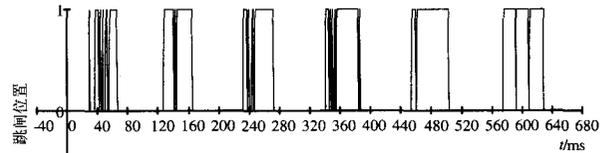


图 5 安顺电厂 5022 断路器 B 相六次分合闸过程

Fig.5 Six times close-open-closed of circuit

breaker 5022' B phase

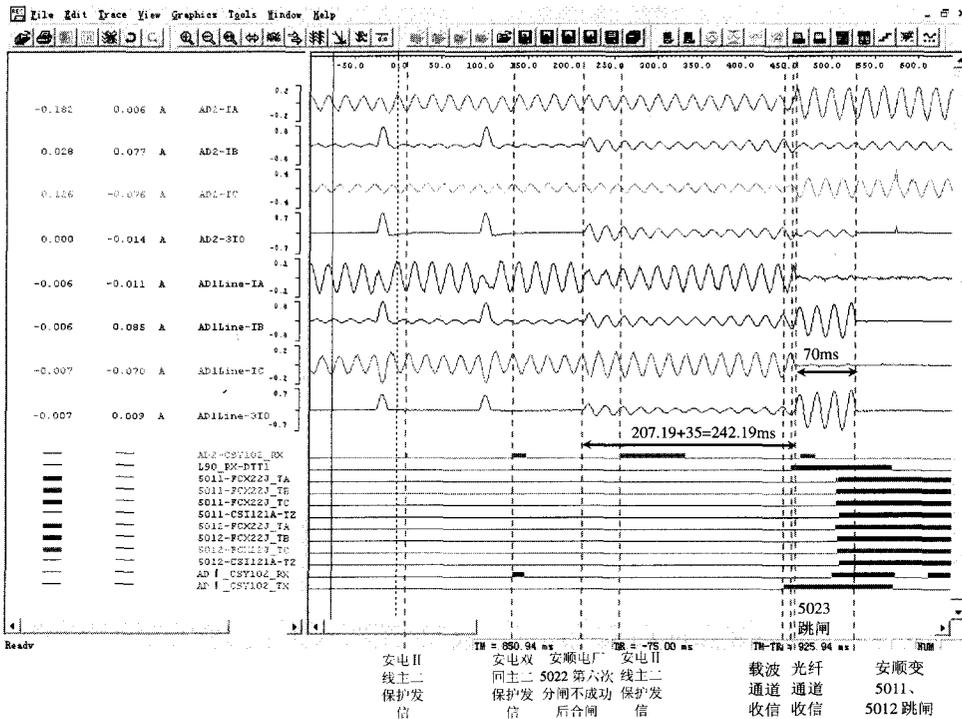


图 6 安顺变电站安电双回线故障录波 (安顺变电站录波的启动时刻较安顺电厂机组的录波晚约 464 ms)

Fig.6 Fault record of An-Dian I and II line in Anshun station (Anshun station' record later about 464ms than Anshun Plant's record)

安顺变电站安电 II 线主一保护 CSL-101A 的动作信息为: TIME 00:37:42; 7 ms GPQD; 30 ms GPIOTX; 153 ms GPIOTX; 275 ms GPIOTX; 483 ms GPIOTX。安电 I 线主一保护 CSL-101A 的动作信息为: TIME 00:37:42 7 ms GPQD; 30 ms GPIOTX; 152 ms GPIOTX; 518 ms GPIOTX; 630 ms GPIOTX。安电 I 线辅 A 保护 CSI-125A 的动作信息

为: TIME 00:37:42; 7 ms DIQD; 25 ms IOQD; 27 ms ILQD; 130 ms IOQD; 138 ms COSQD; 255 ms COSQD; 260 ms IOQD; 473 ms SXQD; 480 ms IOQD; 518 ms YT22PCK; 545 ms COSQD; 573 ms COSQD。辅 B 保护 LFP-925 的动作信息为: 01-20 00:37:42; 0040 ms DI I<YT。#5011 和#5012 断路器的动作信息均为: TIME

00:37:42; 528 ms SLCDCK。

为了分析各保护动作的先后顺序及相对时间,需将各保护的動作时间统一到同一个时间坐标轴上,这个统一的时间坐标轴就是以安顺电厂 MFT 保护动作为起始时刻的时间坐标轴。在时间坐标轴统一的过程中,忽略控制电缆传输延时及装置接收信号的时间。忽略失灵信号传输的延时,安顺电厂 #5022 断路器保护发失灵跳闸命令的时刻 (778 ms) 与 #5023 收到跳闸命令的时刻 (455 ms) 应是同时。

在分析的过程中,如何将安顺变电站侧的保护动作时间统一到安顺电厂侧,需要有说服力的特征量。从安顺电厂 #5022 断路器 B 相的六次分合闸来看,在 #5022 断路器的合闸期间并不一定有故障电流。安顺电厂侧在 440 ms 时出现了一次 A、B 相的电流突变,而安顺变电站看到 B 相电流突变发生在 -24.06 ms,且在 94.69 ms 时又出现了一次电流突变,两次电流突变的时间间隔为 118.75 ms,与 #5022 断路器 B 相分合的周期 120 ms 接近,对应安顺电厂 #2 发电机机端 A、B 相电流第二次出现电流突变的时间应为 558.75 ms,刚好在图 4 记录的时间范围外。根据 #2 机组升压变的接线方式  $Y_0/\Delta$ ,由星-三角形的变换可知<sup>[2]</sup>:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a - I_c) \\ I_B &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_b - I_a) \\ I_C &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_c - I_b) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$  为主变系统侧电流,  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  为发电机机端电流,以上电流均为标么值。且 440 ms 时,5021 的三相和 5022 的 A、C 相已跳开,安顺变电站安电双回线仅 B 相能感受到机组提供的故障电流,因此可以推断两侧第一次发生电流突变是同一时刻。

从安顺电厂 #5023 断路器保护的跳闸报告来看, #5023 断路器跳闸后三相电流同时消失,因此可以判断 #5023 当时三相同时跳开了,检查中发现 C 相拒动应为断路器后来偷合上的,这一点可从安顺电厂 #5022 断路器的 B 相在 33 s 后又出现了两次分合闸得到印证,见图 7。#5023 断路器跳开后,安电 I 线的 A、C 相就与安顺电厂断开,电流降为零,因此 #5023 断路器保护跳闸信号收回的时刻 490 ms 应与安顺变电站安电 I 线 A、C 相电流消失的时刻 458.44 ms 为同一时刻。

安顺电厂 #5022 断路器保护 LFP-921A 的失灵经零序电流把关,从安顺变电站的故障录波来看,安电 I 线从 216.25 ms 开始才出现稳定的零序电流,

因此 #5022 失灵启动的时间应在 216.25 ms 以后。从安电双回线出现零序电流到安电 I 线 A、C 相电流 458.44 ms 消失之间的时间间隔为 242.19 ms,减去 #5023 断路器的分闸时间 35 ms,减去失灵保护的動作延时 200 ms, #5022 断路器失灵启动的时间应该是在 223.44 ms。这样 #5022 断路器失灵出口时间 778 ms 就与安顺变电站录波图上的 423.44 ms 为同一时刻。

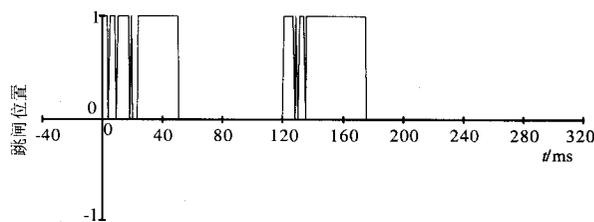


图 7 33 s 后安顺电厂 5022 的 B 相又进行了两次分合  
Fig.7 Two times close-open-closed of circuit breaker 5022' B phase in Anshun Power Plant after 33 seconds

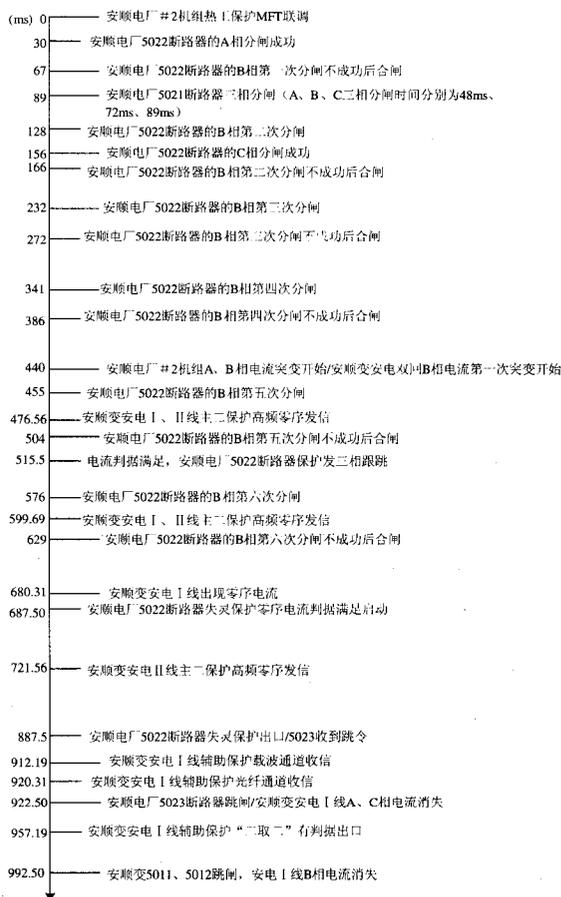


图 8 保护动作时序  
Fig.8 The tripping process of protections

安顺变电站安电双回线主一保护 CSL-101A 的时间可通过其动作发信的时刻与故障录波图上光电装换装置 CSY-102 的收信时刻来统一, 辅 A 保护 CSI-125A 可通过其收信与 CSY-102 的发信时刻来统一, 安顺变#5011、#5012 断路器失灵重动的时刻与录波图上#5011、#5012 操作箱收到跳闸信号的时刻为统一时刻, 这样就可将收集到的各保护的动作时间统一起来。图 8 为各保护相对热工保护 MFT 动作的时序图。

#### 4.3 动作时序

0 ms 安顺电厂#2 机组的热工保护动作, 出口跳#5021、#5022 断路器的同时发停机灭磁的命令; 37 ms 灭磁开关 Q02 动作灭磁。

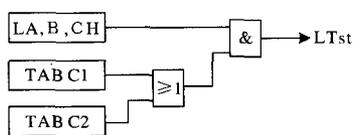


图 9 LFP-921A 三相联跳逻辑

Fig.9 Three-phase tripping logic of breaker protection LFP-921

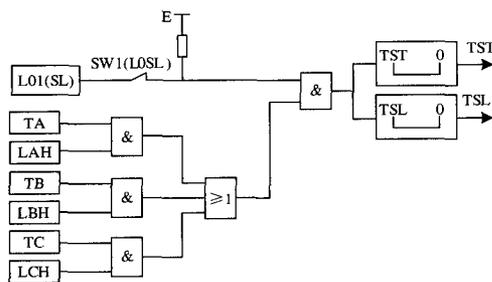


图 10 LFP-921A 失灵跳闸逻辑

Fig.10 The breaker failure tripping logic of LFP-921

由于剩磁及机组的惯性, 在跳闸初期发电机从系统吸收的无功较少, 同时由于 B 相反复进行分闸—合闸—分闸, 使得#5022 断路器保护的三相联跳命令因电流判据不满足迟迟发不出来。在第四次合闸结束前 440 ms, 机组 A、B 相产生了一次较大的冲击电流, #5022 断路器保护 LFP-921A 的电流判据满足, “三相联跳保护动作”(LTst), 三相联跳的逻辑见图 9<sup>[3]</sup>。#5022 断路器保护 LFP-921A 的失灵保护因零序电流元件在多次分合的过程中反复返回, 导致失灵保护直到 687.5 ms 零序电流判据才满足, 失灵逻辑见图 10。失灵启动后经 200 ms 延时出口跳#5023 断路器, 并同时发远跳令跳安电 I 线安顺变电站#5011、#5012 断路器。安顺电厂#5023 断路器收到跳闸命令后, 经过 35 ms 跳开。同时, 失灵跳闸信号 22 ms 后经载波通道传到安顺变, 相隔 8.12 ms 后光纤通道收信, 辅 A 保护在双通道收

信后 36.88 ms 发跳闸命令(定值延时 30 ms), 辅 B 保护在第一次收信时启动, 40 ms 后出口。在辅 A 保护发出跳闸命令 35.31 ms 后, 安顺变电站#5011、#5012 断路器切除故障, 至此才将安顺电厂#2 机组从系统隔离。

## 5 总结

此次事故由安顺电厂#2 机组热工保护动作引起, 由安顺电厂#5022 断路器 B 相的液压机构工作不正常而使事故扩大。在整个事故过程中, 保护动作行为正确, 保证了及时将机组从系统中隔离, 避免了机组损坏和系统受到进一步的冲击。虽然#5023 断路器的 C 相在跳开后又偷合上了, 但因此时安顺变电站侧的断路器已跳开, 故未造成影响。

在分析过程中, 因安顺电厂故障录波仅接入#5021、#5022 断路器的跳闸位置, 而无断路器保护的跳闸命令, 给保护动作分析带来了困难, 建议将保护跳闸命令接入故障录波。针对本次事故液压机构暴露的问题, 要求在今后液压机构的运行维护中, 加强对液压油及整个液压回路的清洁, 防止断路器液压机构卡滞而造成断路器拒动。

## 参考文献

- [1] 董潇涛. LW12-500 型断路器缺陷分析及改造措施[J]. 高电压技术, 2006, 39(4): 124-126.  
DONG Xiao-tao. Fault Analysis of LW12-500 Circuit Breaker and Reconstruction[J]. High Voltage Engineering, 2006, 39(4): 124-126.
- [2] 崔家佩. 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, 1993.  
CUI Jia-pei. Power System Protection and SSC Calculations [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1993.
- [3] 南瑞继保. LFP-921A 断路器失灵保护及自动重合闸装置技术说明书[Z]. 2000.  
NARI-RELAY Electric Co., Ltd. Technical Reference Manual of Breaker Failure & Automatic Reclosing Relay LFP-921[Z]. 2000.

收稿日期: 2007-11-12; 修回日期: 2007-11-29

作者简介:

舒双焰(1972-), 男, 工程师, 硕士, 从事继电保护运行管理工作; E-mail: shusy@csg.cn

赵有铨(1977-), 男, 工程师, 从事继电保护运行管理工作;

赵曼勇(1957-), 女, 教授级高工, 从事继电保护运行管理工作。