

# 500kV 线路单相永久性故障两侧重合闸动作不一致的分析

邓洁清<sup>1</sup>, 刘一丹<sup>1</sup>, 乔星金<sup>1</sup>, 高磊<sup>2</sup>

(1.江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211102; 2.江苏省电力科学研究院, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 一条 500kV 线路发生单相永久性接地故障, 线路两侧的保护动作情况不一样: 一侧单跳单重转三跳, 另一侧单跳后再三跳。本文针对这种情况, 对故障录波图和保护装置动作逻辑进行分析, 发现由于线路两侧的保护重合闸开始计时方式不同导致了动作行为的不同, 同时提出线路两侧开关三跳的原因也不同: 一侧是由于线路保护三跳出口, 而另外一侧是由于开关保护三跳出口, 并对其进行分析指出国内外线路保护跳闸逻辑的差异。最后提出几点思考, 希望专业人员予以注意, 在适当的场合加以利用。

**关键词:** 单相永久性故障; 重合闸逻辑; 重合于故障; 沟通三跳逻辑

## 0 引言

近日, 一条 500kV 线路发生 C 相单相永久性接地故障 (后经巡线发现, 由于线路附近施工造成该接地故障), 24ms 时线路一侧开关 C 相跳开, 727ms 时开关 C 相重合接着三相跳开, 保护动作行为符合单相永久性故障 (即合于故障) 的逻辑[1], 而另一侧 26ms 时开关 C 相跳开, 901ms 时开关三跳, 其中没有开关 C 相重合的行为, 后通过检查发现, 开关保护没有发出重合闸命令, 且开关三跳令是由开关保护发出而非线路发出。本文通过分析故障录波图和装置动作逻辑, 阐述了线路两侧动作行为不同的原因, 并在此基础上对保护动作行为作出评价, 并提出值得思考的地方。

## 1 事故分析

### 1.1 事故情况

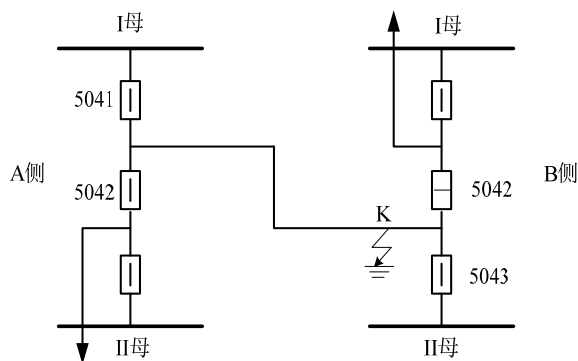


图 1 故障前系统运行图

Fig.1 System structure diagram before fault

故障前, 系统运行情况如图 1 所示: 线路 A 侧 5041、5042 开关合环运行, B 侧 5043 单开关运行。线路两侧的保护配置如下: A 侧两套线路保护为 ABB 公司的 REL561 装置 (光纤差动保护)、开关保护为南瑞继保的 RCS921A 装置; B 侧两套线路保护也为 ABB 公司的 REL561 装置, 开关保护为 ABB 公司的 REB551 装置。线路两侧差动保护的差动门槛值为  $0.3I_n$ , 开关保护重合闸时间为: 边开关 0.7s、中开关 1.2s, 重合闸方式为单相重合闸。

2009 年 3 月 9 日 00:31:31 时, 线路 C 相在 K 处发生接地故障 (距离 B 侧较近, 并以此记为 0ms): A 侧故障电流为  $4.12I_n$ 、B 侧故障电流为  $3.12I_n$ 。两侧开关在 53ms 跳开 C 相切除故障电流; B 侧 5043 开关 C 相在 824ms 重合, 此时故障并未消除, 随后在 864ms 时 5043 开关三相跳开; A 侧 5041、5042 开关 C 相一直没有重合, 在 901ms 时 5041、5042 开关三相跳开。两侧故障波形如图 2 所示。

通过对事故过程的简单分析, 得出以下结论:

(1) 从两侧故障波形可以看出: 线路 C 相发生永久性接地故障, 后经巡线发现是由于线路附近不安全施工造成的;

(2) B 侧的开关动作情况基本符合单相永久性接地故障的特征: C 相跳开, 重合于故障, 紧接着三相跳开; A 侧的开关 C 相跳开没有重合直接三相跳开, 下面将对保护动作情况进行分析, 来查找 A 侧开关没有重合直接三跳的原因。

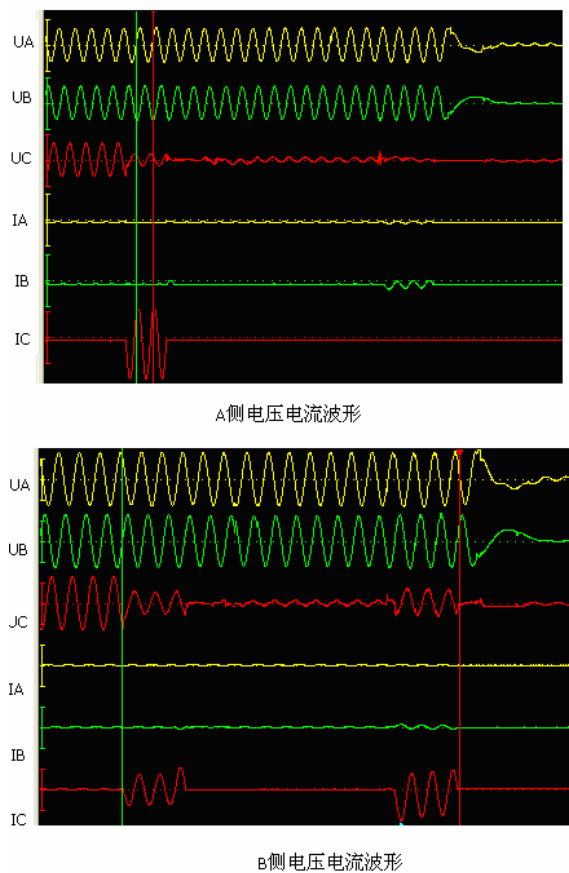


图 2 线路两侧故障波形图

Fig.2 Fault recording of both sides

1.2 保护动作情况

表 1 两侧事件量变位信息表

Tab.1 Event recording table of both sides

A 侧保护动作序列		
时刻	事件量名称	变位情况
24ms	线路保护跳 C 相	动作
49ms	5041、5042 开关保护跟跳 C 相	动作
53ms	5041、5042 开关 C 相	跳开
174ms	线路保护跳 C 相	复归
850ms	线路保护跳 C 相	动作
879ms	5041、5042 开关保护沟通跳三相	动作
901ms	5041、5042 开关 A 相、B 相	跳开

B 侧保护动作序列		
时刻	事件量名称	变位情况
24ms	线路保护跳 C 相	动作
47ms	5043 开关保护跟跳 C 相	动作
52ms	5043 开关 C 相	跳开
174ms	线路保护跳 C 相	复归
727ms	5043 开关保护重合闸	动作
824ms	5043 开关 C 相	合上
844ms	线路保护跳三相	动作
864ms	5043 开关 A、B、C 三相	跳开

通过比对两侧的故障录波图，确定两侧线路保护动作时间相同，这和两侧线路保护采用 ABB 公司的 REL561 装置有关。以故障发生时刻为 0ms，其他事件量变位时刻皆为相对时间。两侧事件量变位信息如表 1 所示。

通过对表 1 中事件量变位的分析，可以得出以下结论：

(1) 当线路发生单相接地故障时，B 侧线路保护动作跳单相，727ms 时 5043 开关保护重合闸动作，由于故障没有消失，开关合上后线路保护又感受到故障，随后加速跳开三相。所以使得 B 侧 5043 开关单跳、单重、加速三跳。

(2) 当线路发生单相接地故障时，A 侧线路保护动作跳单相，850ms 时线路保护再次动作跳单相，879ms 时 5041、5042 开关保护沟通跳三相。所以 A 侧 5041、5042 开关先单跳再三相跳而没有重合的原因是：开关保护重合闸没有动作，且开关三跳不是因为线路保护动作造成的，而是由于开关保护发出了三跳命令。

2 保护动作原因分析

2.1 相关保护逻辑分析

REL561 装置的单相跳闸逻辑如图 3 所示(以 C 相分析，其他相类似)，当保护动作后，发出展宽 150ms 的跳闸脉冲信号。该信号一方面去开关保护启动重合闸，另一方面去自保持逻辑形成最终的跳闸出口信号到操作屏。而国产保护的跳闸信号是故障消失后收回，而没有固定展宽，同时自保持逻辑是通过操作屏的自保持回路实现的<sup>[2]</sup>。

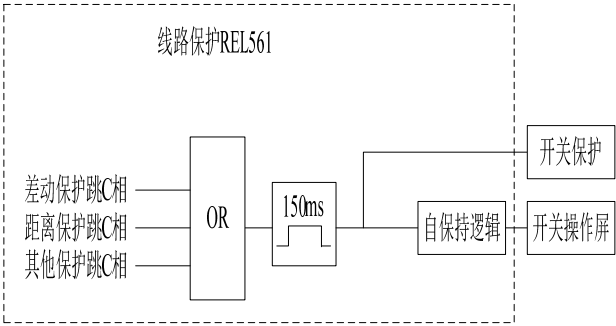


图 3 REL561 跳闸逻辑图

Fig.3 Trip logic diagram of REL561

开关保护 REB551 在重合闸条件满足的前提下，收到线路保护的跳闸信号即开始计时，达到重合闸动作延时，则发出合闸命令。与此不同的是，

开关保护 RCS921A 在重合闸条件满足的前提下，在线路保护的跳闸信号返回后开始计时。基于以上的分析，可得出以下结论：

(1) RCS921A 的重合闸开始计时方式是基于国产线路保护的跳闸逻辑：故障消失后跳令即收回。而 REB551 的重合闸开始计时方式是基于 ABB 公司线路保护的跳闸逻辑：不管故障是否消失跳令，固定展宽 150ms。目前国内主流保护厂家的开关保护重合闸开始计时方式均与 RCS921A 相同。

(2) 当 REL561 和 RCS921A、REB551 配合时，理论上 RCS921A 的重合闸出口时间将比 REB551 的重合闸出口时间慢 150ms。

## 2.2 动作原因分析

从表 1 得知：故障发生后 24ms 两侧线路保护动作发出 C 相跳令，53ms 时两侧开关 C 相跳开。B 侧 5043 开关保护装置 REB551 收到线路保护的跳闸信号后，立即开始计时；而 A 侧 5041、5042 开关保护 RCS921A 在线路保护跳令复归后才开始计时。727ms 时 B 侧 5043 开关保护 REB551 发出重合命令（重合闸动作时间整定为 0.7s），而此时 A 侧的开关保护重合闸延时还没有走完。824ms 时 B 侧 5043 开关 C 相合上，由于此时故障没有消失，所以两侧的线路保护感受到差流，保护必然动作[3]，但是两侧保护动作行为并不一样，现作详细分析：

(1) B 侧保护动作行为：由于 5043 开关保护发出重合命令的同时，也发出合于故障的信号给线路保护，当 5043 开关 C 相合上，而故障依然存在时，线路保护启动合于故障逻辑，加速跳开 5043 开关三相。

(2) A 侧保护动作行为：对侧 5043 开关在 824ms 时重合 C 相于故障，因此线路保护感受到差流，而此时由于 5041、5042 开关保护重合闸动作延时未到，所以重合闸不会动作，线路保护也就没有启动合于故障逻辑，而是认为 C 相再次发生故障，故而动作再次发出 C 相跳闸命令到 5041、5042 开关保护和其操作屏。这里需要说明的是 RCS921A 的沟通三跳逻辑，如图 4 所示，在重合闸启动 200ms 后，如果有跳闸开入则重合闸放电，所以当 5041、5042 开关保护再次收到线路保护的跳闸信号时，重合闸立即放电，启动沟通三跳逻辑，于 879ms 时，发出三相跳闸命令，跳开 5041、5042 开关三相。

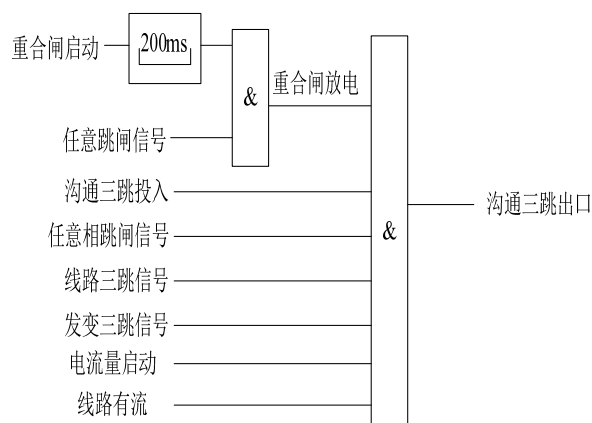


图 4 RCS921A 沟通三跳逻辑图

Fig.4 Three-phase trip logic diagram of RCS921A

通过以上的分析，可以得出结论：由于两侧开关保护重合闸逻辑不同，导致 B 侧开关保护重合闸先动作，而此时故障未消失，A 侧线路保护感受到差流，再次发出单相跳闸信号给本侧的开关保护，使其重合闸放电不重合，进入沟通三跳逻辑<sup>[4]</sup>。

## 3 保护动作评价及思考

从第二章的分析可以得出结论：两侧所有保护均正确动作，没有拒动和误动情况。但可作进一步思考：

(1) 由于线路两侧开关保护重合闸开始计时方式的差异，是导致一侧重合闸没有动作，无意中使得其开关免受短路故障冲击，对开关本身以及系统稳定都有好处。如果线路的一侧是弱电源，则没有单相重合再三相跳开的过程对于系统稳定意义重大。其实在 V3/2 接线方式中，边开关和中开关采用顺序重合闸就是考虑到：当线路发生单相永久性接地故障时，边开关先重合，发现故障未消除由线路保护加速跳开边开关和中开关，使得中开关免受一次短路故障冲击和保持系统稳定<sup>[5]</sup>。

(2) 对于 3/2 接线方式的系统，如果某条线路的边开关与中开关保护配置不一致时，就需要考虑到其重合闸时间的设定问题，以避免出现两个开关几乎同时重合于故障。

(3) 通过以上的分析发现：线路保护装置 REL561 在没有收到合于故障信号的前提下，短时间内感受到同一相两次故障，只是发出两次故障相的跳闸命令而不发出三跳命令。这也是 A 侧开关三跳是由开关保护实现而非线路保护实现的原因之一。而对于短时间内感受到同一相两次故障，国产

保护则是采用先单跳再三跳的逻辑。两种设计并无优劣之分,只是专业人员在分析故障时需要加以注意<sup>[6]</sup>。

(4) 如果线路主保护配置纵联距离或者纵联方向保护,当线路发生单相永久性接地故障,两侧开关跳开故障相后,一侧开关重合故障时,由于另外一侧开关还没有重合,所以纵联距离保护或者纵联方向保护感受不到故障电流(而差动保护却可以感受到差流),故而不会动作,其开关保护重合闸继续计时,开关依然可以重合<sup>[7]</sup>。

## 4 结论

通过对这次故障中保护动作情况的深入分析,知道国外开关保护和国内开关保护的重合闸逻辑不同,在进行配合时,导致线路两侧不同的动作行为,同时也发现国内外线路保护的跳闸逻辑也是不同的。这些不同之处基于不同的设计理念,在保护设备选型时要加以注意。当然目前 500kV 保护逐步国产化,也就不存在这些问题,但是充分的理解国内外保护装置逻辑的差异,在适当的场合加以利用,可以收到很好的效果,这是保护专业人员值得注意的。

### 参考文献:

[1] 赵京立,余凯,陈建. 高压电网的合闸于故障保护[J]. 电

力自动化设备, 2001, 21(7):67-70.

[2] 王国光.变电站综合自动化系统二次回路及运行维护[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

[3] 蒋萍. 光纤电流差动保护在超高压线路保护中的应用[J]. 中国科技信息,2005(17A):121.

[4] 林榕,曹树江. CSL101 与 LFP901 线路保护重合闸应用问题的分析[J]. 电网技术,2003,27(10):78-81.

[5] 孟祥萍,高嫵. 电力系统分析(第一版)[M], 北京:高等教育出版社,2004.

[6] 王力军.双微机线路保护装置动作行为分析[J]. 湖北电力,2000,24(1).

[7] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第三版)[M].北京:中国电力出版社,2005.

### 作者简介:

邓洁清(1977-),男,高级工程师,长期从事电力系统二次设备运检管理工作, E-mail: djq0905@163.com;

刘一丹(1971.9-),男,高级工程师,长期从事电力系统继电保护运检技术研究工作, E-mail: lydjsepc@126.com;

高磊(1982.11-),男,工程师,从事电力系统分析和继电保护试验工作, E-mail: Gaolei.seu@gmail.com。