

# 110 kV 线路非典型反方向跳闸事件的全面分析及改进措施

安贵元, 杨雪梅, 金英, 高辉, 杨剑梅

(天水供电公司, 甘肃 天水 741000)

**摘要:** 介绍了在电网运行中发生的一起非常特殊的 110 kV 线路跳闸的真实事件。该线路保护中零序电流保护(方向元件投入)在反方向故障时出口跳闸, 且该线路保护动作行为非误动和二次回路接错等一般原因所致, 而是保护装置在特殊故障情况下的正确动作行为。从跳闸事件的一般现象出发, 以故障录波图、保护装置说明书为依据, 以电网故障电流仿真系统为工具, 层层递进地剖析跳闸的原因, 不仅为今后分析处理类似故障提供了真实的参考依据, 也为提高电网可靠性提供了符合生产实际的改进措施。

**关键词:** 线路保护; 反方向; 跳闸; 分析; 措施

## A comprehensive analysis of 110 kV line atypical opposite direction trip and improvement measures

AN Gui-yuan, YANG Xue-mei, JIN Ying, GAO Hui, YANG Jian-mei

(Tianshui Power Supply Company, Tianshui 741000, China)

**Abstract:** An extremely special 110 kV line opposite direction trip is introduced. The cause for the special trip of zero-sequence current (having direction) is not common protection maloperation and connection error, but a right behavior under the special fault. Moreover, starting from the general phenomenon, this paper gives a thorough analysis of the trip cause by using fault current simulation system according to graph of fault recorder and specification, which not only provides realistic reference for dealing with similar failures, but also presents measures in accord with actual demands for improving the power grid reliability.

**Key words:** line protection; opposite direction; trip; analysis; measures

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)01-0145-04

## 0 引言

在继电保护整定计算中, 要求带方向元件的保护在正方向故障时可靠动作, 反方向故障时不发生误动<sup>[1]</sup>。带方向的保护装置误动的原因一般有电流回路极性接反、方向元件输入电压极性接反、方向元件的输入电流和电压不是来自同一个系统等<sup>[2]</sup>, 且带方向保护装置反方向动作一般会对电网造成不良影响<sup>[3]</sup>, 但本文介绍的特殊跳闸事件中带方向零序电流保护在反方向故障时动作, 不存在上述误动原因, 经核查为保护装置正确动作。本文通过详细介绍一个真实的非典型反方向跳闸事件, 为今后处理类似故障提供清晰的分析思路、真实的参考依据和符合生产实际要求的改进措施, 进一步提高电网可靠性水平。

## 1 跳闸过程

### 1.1 电网运行方式

电网结构示意图如图 1 所示, 正常运行方式下

“天一、天二、天三”三角环网运行; 图 1 中线路开关(1111、1112、1113、1114、1115、1116、1117)均配置距离保护, 零序电流保护(方向指向线路); 天四站为末端变, 线路开关 1118 无保护; 天二站中 1115 线路和 1117 线路位于 I 母, 1112 线路位于 II 母。

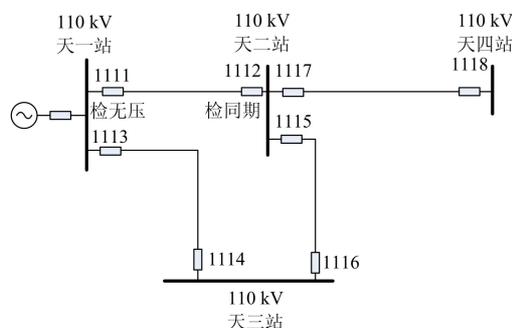


图 1 电网结构示意图

Fig. 1 Schematic of the grid structure

### 1.2 故障跳闸信息

在电网发生故障后，开关跳合情况如下：1117 线路保护动作后，1117 开关跳开，重合闸动作，1117 开关合闸，不灵敏 I 段永跳失败；1116 线路保护零序 IV 段出口永跳，1116 开关跳开，重合闸未出口；1112 线路保护零序 I 段出口，开关跳开，重合闸未出口；1111 开关无保护跳闸信息。

天二站 1117 线路主要故障报文：

- 000 000 ms 零序保护启动
- 000 000 ms 距离保护启动
- 000 345 ms 零序 II 段出口 电流=11.18 A
- 000 364 ms 测距阻抗值 2.006+j1.697 Ω
- 000 421 ms 重合闸启动
- 001 422 ms 重合闸出口
- 001 426 ms 重合闸整组复归
- 001 528 ms 零序不灵 I 段永跳
- 001 779 ms 零序三跳失败
- 002 732 ms 距离保护永跳出口
- 002 732 ms 接地距离 III 段出口
- 006 529 ms 零序永跳失败
- 007 983 ms 距离保护永跳失败

天二站 1112 线路主要故障报文：

- 000 000 ms 差动保护启动
- 000 000 ms 零序保护启动
- 000 000 ms 距离保护启动
- 012 013 ms 差动保护整组复归
- 012 015 ms 零序保护整组复归
- 012 015 ms 距离保护整组复归
- 012 038 ms CT 负载不平衡
- 013 260 ms PT 断线
- 015 875 ms 零序保护启动
- 015 892 ms 零序 I 段出口
- 015 968 ms 重合闸启动
- 025 973 ms 重合闸整组复归

## 2 原因分析

### 2.1 故障现象分析

经过故障巡查发现，天二站 1117 线路因山火引发单相接地故障（故障点距天二站约 70 km）；1117 线路开关液压机构故障造成重合于永久性故障时拒动。

1117 线路重合于永久性故障时不灵敏 I 段动作（不灵敏 I 段用于线路合闸于故障时瞬时加速零序电流保护），1117 开关跳闸失败后应由远后备保护（1111 线路保护、1116 线路保护）动作切除故障，故 1116 线路零序保护出口跳闸，但 1111 线路保护

未见动作，而是 1112 线路零序 I 段反方向动作跳闸，隔离了故障点。

### 2.2 故障模拟计算分析

面对保护跳闸中不寻常的现象，研究人员结合故障录波图，利用电网故障电流仿真系统分两个阶段对故障过程进行了模拟计算。

第一阶段：

“天一、天二、天三”三角环网运行，1117 线路发生单相接地故障，零序故障电流分布图见图 2 所示。

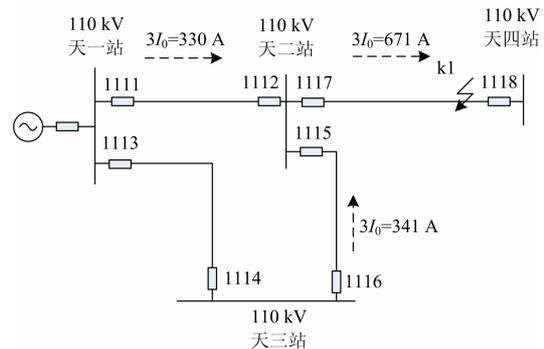


图 2 零序故障电流分布图（合环运行）

Fig. 2 Distribution of zero-sequence fault current (loop closing)

第一阶段定值分析：

- (1) 图 2 中，1117 线路零序故障电流达到零序 II 段动作值（600 A/0.3 s），开关跳闸；
- (2) 1117 线路重合于永久性故障拒动时，流过 1111 线路零序故障电流达到 IV 段跳闸定值（300 A/2.4 s）；流过 1116 线路的零序故障电流达到 IV 段跳闸定值（180 A/1.8 s）；
- (3) 1112 线路的反向零序故障电流值达到 II 段动作值（249 A/0.3 s）。

第一阶段跳闸分析：

- (1) 1116 线路保护正确动作；
- (2) 1111 线路零序 IV 段未动作，原因不明；
- (3) 1112 线路零序电流保护未发生误动，证明二次回路极性接错的可能性较小。

第二阶段：

1116 线路跳闸后，“天一、天二、天三”开环运行时零序故障电流分布图见图 3 示。

第二阶段定值分析：

- (1) 1111 线路零序故障电流达到零序 III 段动作值（610 A/2.1 s）；
- (2) 1112 线路反向零序故障电流达到零序 I 段动作值（447 A/0 s）。

第二阶段跳闸分析：

- (1) 1111 线路零序 IV 段未动作, 原因不明;  
 (2) 经过一段时间的延时, 1112 线路零序 I 段出口跳闸, 原因不明。

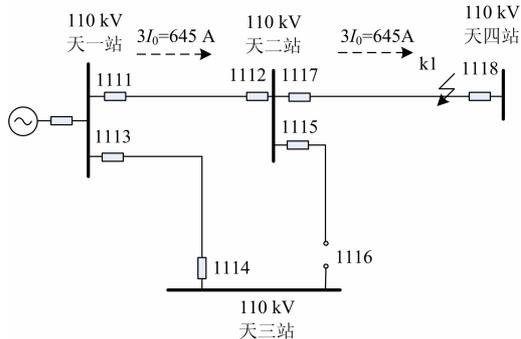


图 3 零序故障电流分布图 (开环运行)

Fig. 3 Distribution of zero-sequence fault current (loop opening)

### 2.3 关键问题分析

经过两个阶段的计算分析和总结, 有两个关键问题需要进一步研究。

#### (一) 1111 线路保护未动作的原因

1111 线路保护装置型号为 PSL621D, 其后备保护类型包括距离保护和零序电流保护, 下面分别进行定量分析。

**距离保护分析:** 在图 1、图 2 中 k1 发生故障时 1111 线路保护装置测量阻抗分别为  $44 \Omega$  和  $40 \Omega$ , 超出接地距离保护范围 ( $21.7 \Omega$ ), 故距离保护未动作;

**零序电流保护分析:** PSL621D 装置的零序电压  $3U_0$  由保护自动求和完成, 即  $3U_0 = U_a + U_b + U_c$ , 当  $3U_0 < 2 \text{ V}$  时, 零序方向元件闭锁; 故障点距离天一 110 km 且经高阻单相接地时, 经计算此时零序电压为  $0.8 \text{ V}$ , 低于零序功率方向元件的门槛电压 ( $2 \text{ V}$ ), 零序方向元件闭锁, 故零序电流保护未动作。

#### (二) 1112 线路反方向故障时零序电流保护动作的原因

经过理论分析和详细检查, 基本排除 1112 线路保护装置二次回路接线错误的可能性, 接下来重点分析两个关键问题。

#### (1) 零序 I 段在反方向故障为什么能出口跳闸?

1112 线路保护装置的动作原理为“PT 断线检查在保护未启动时进行, 保护启动后只保持启动前的标志”, “当 PT 断线后, 零序保护的方向元件自动退出”。

通过故障报文可以看出, 在零序电流保护再次启动前, 装置已报“PT 断线”, 反向故障电流达到

零序 I 段动作值, 此时零序电流各段保护均不再受方向元件闭锁, 所以零序 I 段出口跳闸。

(2) 反方向短路电流未消失, 零序保护在整组复归后为何没有立即启动, 而是在约 3~4 s 后才启动?

1112 线路保护的启动元件包括相电流突变量启动元件, 零序辅助启动元件和静稳破坏检测元件。当 1117 开关重合于永久故障拒动后, 1112 线路零序电流  $3I_0$  的故障录波情况如图 4 所示, 从图 4 中可以看出由山火引发的接地故障中, 零序故障电流具有波动性和不连续性的特点。

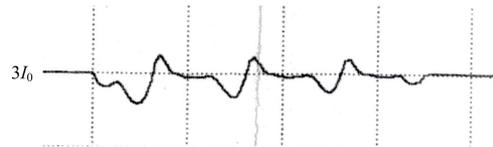


图 4 1112 线路零序电流  $3I_0$  的故障录波图

Fig. 4 Fault recorder graph of zero-sequence fault current  $3I_0$  of 1112 line

通过详细分析故障录波图发现, 由于故障介质的特殊性, 1112 线路保护整组复归后约 3~4 s 的时间段内, 山火引发的故障电流不足以使突变量元件和辅助启动元件启动, 直至  $015\ 875 \text{ ms}$  时 (报文时间) 达到零序电流保护启动值, 零序电流保护启动, 而此前装置已报“PT 断线” (在保护整组复归后, PT 断线判据满足持续  $1.25 \text{ s}$  发 PT 断线信号)。

### 3 改进措施

通过分析上述非典型反方向跳闸故障可以为今后的保护整定、保护配置、事故分析等方面提供宝贵的参考依据和改进措施:

第一, 在保护整定计算方面, 在躲过正常运行时的不平衡电流的情况下, 应尽量降低电流保护启动元件的门槛值, 保证下级线路末端发生故障时有足够的灵敏度; 在短路电流走向唯一的线路中, 退出零序电流保护的方向元件, 避免在线末故障情况下因电压压降较大造成方向元件闭锁, 引起保护拒动<sup>[4-6]</sup>; 长线路末端故障时, 母线电压下降幅度可能较小, 因此整定长线路的过流保护时, 应适当提高复合电压闭锁中低电压的定值 (躲过正常运行时的最低电压)。

第二, 在保护装置配置方面, 对于由于开关拒动波及范围较广且具有两段母线的变电站应在母线上加装失灵保护, 这样断路器失灵后只切除故障支路所在的一段母线 (如天二站 I 母), 可保留另一段母线 (如天二站 II 母) 正常运行, 降低变电站全站

失压的风险。

第三，在二次回路方面，为解决长线路末端故障失灵保护电压灵敏度不足的问题，应在母线保护二次回路中增加“线路失灵解复压闭锁”开入，解除该支路失灵保护复压闭锁，保证失灵保护可靠动作。

第四，在事故分析方面，一方面应加强分析在经不同介质接地（尤其是动态介质）的故障情况下，故障分量的曲线特征和电气量的变化情况<sup>[7-9]</sup>；另一方面不能盲目将保护反方向动作归咎于保护装置误动或二次接线错误，要认真学习 and 全面了解保护装置的动作逻辑。

参考文献

[1] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳, 等. 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, 2001.  
CUI Jia-pei, MENG Qing-yan, CHEN Yong-fang, et al. The setting calculation of power system protection and security automatic equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

[2] 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.  
National Electric Power Dispatching and Communication Center. The technical questions and answers of power system protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

[3] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.  
National Electric Power Dispatching and Communication Center. The typical fault analysis of power system protection[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993.

[4] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于序电流相位比较和幅值比较的广域后备保护方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 248-256.  
LI Zhen-xing, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Algorithm of wide-area protection on comparison of current phase and amplitude[J]. Transactions of China Electro technical Society, 2013, 28(1): 248-256.

[5] 古斌, 谭建成. 基于瞬时功率理论的新型功率方向元件[J]. 电工技术学报, 2010, 25(2): 181-186.

GU Bin, TAN Jian-cheng. A study of the novel power direction relay based on the instantaneous power theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(2): 181-186.

[6] 潘茗, 张静伟, 金滇黔, 等. 一起 220 kV 线路发展性故障跳闸分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 105-108.  
PAN Ming, ZHANG Jing-wei, JIN Dian-qian, et al. Analysis of a 220 kV line trip by the developing fault[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(23): 105-108.

[7] 郭碧媛, 张丰, 罗松. 220 kV 主变 110 kV 侧零序过流保护跳闸整定的改进[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 209-210, 216.  
GUO Bi-yuan, ZHANG Feng, LUO Song. Improvement of zero-sequence protection's setting trip order for 110 kV side of 220 kV transformer[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 209-210, 216.

[8] 吴田, 阮江军, 张云, 等. 输电线路因山火跳闸事故统特性与识别分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(10): 138-143, 148.  
WU Tian, RUAN Jiang-jun, ZHANG Yun, et al. Study on the statistic characteristics and identification of AC transmission line trips induced by forest fires[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(10): 138-143, 148.

[9] 武一, 李奎, 岳大为, 等. 电力系统连锁故障的关联模型[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 210-215.  
WU Yi, LI Kui, YUE Da-wei, et al. Correlation model of cascading failures in power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 210-215.

收稿日期: 2013-05-09; 修回日期: 2013-06-06

作者简介:

安贵元 (1965-), 男, 高级工程师, 全面负责供电公司生产管理工作;

杨雪梅 (1984-), 女, 通信作者, 硕士, 工程师, 从事主网保护整定计算及保护专业管理工作; E-mail: yxm113@126.com

金英 (1967-), 女, 高级工程师, 从事配网保护整定工作及保护专业管理工作。