

# 某变电站 110 kV 母差保护在连续故障过程中的行为分析

许西平, 杨宗韬, 寇轶

(陕西省商洛供电局, 陕西 商洛 726000)

**摘要:** 针对某 110 kV 变电站 110 kV 母线差动保护在线路发生连续故障过程中的误动行为, 详细介绍了事故经过, 充分利用从该变电站现场收集到的包括线路保护装置、母差保护装置以及故障录波装置的录波报告, 对母差保护、线路保护的动作时序和故障过程故障量波形特征进行详细分析, 同时通过对一、二次设备进行事故后细致观察, 得出了造成此次母线差动保护误动的两个主要原因: 一次设备击穿和二次回路击穿。总结教训, 提出相应的防范和整改措施, 对施工单位、运行单位、检修单位提出合理建议。

**关键词:** 母差保护; 区外误动; 一次设备; 二次设备; 击穿

## Analysis of the continuous fault occurred in bus protection of one 110 kV transformer substation

XU Xi-ping, YANG Zong-tao, KOU Yi

(Shangluo Electric Power Bureau, Shangluo 726000, China)

**Abstract:** According to the malfunction of continuous malfunction which occurred in 110kV bus protection of one 110kV transformer substation, the information including line protection devices' recording report, bus protection devices' recording report and malfunction analysis devices' recording report, is gathered from the substation and adequately used to analyze the time-sequence of bus protection, line protection, malfunction processing and malfunction waveform characteristics. The primary equipment and secondary equipment are also inspected carefully after the malfunction. Then, the paper gives two main reasons that caused the malfunction of bus protection, including the primary equipment breakdown and secondary equipment breakdown. The relevant prevention measures and solutions are presented, and suggestions for construction department, running department and maintenance department are made in the paper.

**Key words:** busbar protection; external malfunction; primary equipment; secondary equipment; breakdown

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)16-0064-04

## 0 引言

近几年随着电力体制改革的日益深入, 国家对电网建设的投资不断加大, 在电网建设中, 选用一、二次设备的质量至关重要, 安装施工工艺也是日后电网、电气设备安全稳定运行的重要因素。笔者就发生在身边的一起电网事故, 详细分析导致事故发生的确切原因, 并提出相应措施及注意事项。希望通过交流使大家在新建、改扩建工程的一二次设备验收过程中有所提示。

## 1 电网及运行方式、保护配置简介

某变电站 110 kV 系统主接线如图 1 所示, 110 kV 母线由 03、04 单元负责供电, I 母 II 母并列运行, 母联开关在合位。110 kV 母线保护采用分相复式比率差动原理母差保护; 01 单元线路采用三段式接地、相间距离, 四段式零序电流方向保护及三相一次重合

闸; 03、04 单元线路两侧均采用电流光纤纵差保护, 三段式接地、相间距离, 四段式零序电流方向保护及三相一次重合闸。

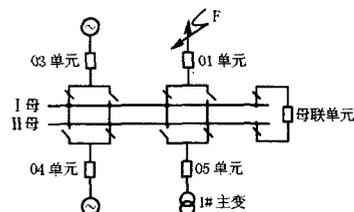


图 1 变电站一次系统主接线图

Fig.1 Main connection diagram of a 110 kV substation

某日 20 时 58 分 51 秒, 该站 110 kV 出线 01 单元线路发生三相短路故障, 01 单元线路保护动作, 跳开 01 单元断路器。另外, 110 kV 母差保护 I 母 C 相差动保护动作, 跳开 I 母上所连接各元件 (LK 母联单元、01 单元、03 单元) 断路器。从现场收集到的 01 单元线路保护装置录波报告如图 2

所示, 母差保护装置录波报告分别如图 3、图 4 所示。

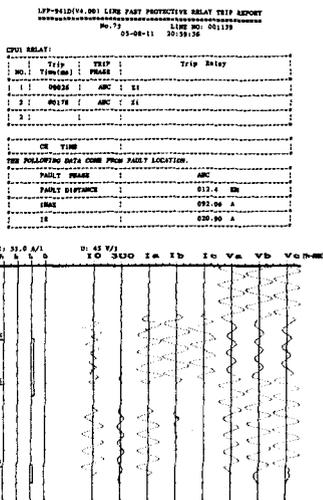


图 2 01 单元线路保护动作录波报告  
Fig.2 The record of line protection unit 1

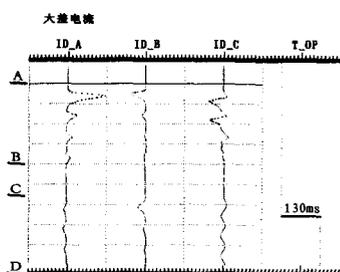


图 3 母差保护动作录波报告  
Fig.3 The record of bus protection

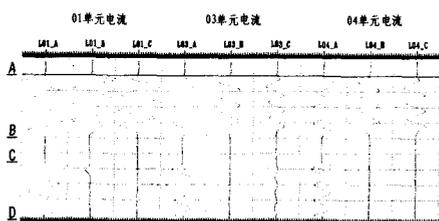


图 4 母差保护动作录波报告  
Fig.4 The record of bus protection

## 2 保护动作行为及原因分析

### 2.1 分析 01 单元的线路保护动作录波报告

2.1.1 由图 2 可以看出, 在 01 单元线路发生三相短路后第 26 ms 相间阻抗 I 段保护 Z1 动作, 于第 80 ms 跳开该断路器 (可以看出从保护发出跳闸命令到断路器跳开切除故障电流的固有时间为 55 ms), 线路故障电流切除, 母线电压恢复。但在大约第 110 ms

时, 该线路 A 相又出现一定幅值的故障电流, 由于该线路重合闸时间为 1 500 ms, 所以排除是断路器重合于永久性故障的情况。该线路保护于 178 ms 接地阻抗 I 段 Z1 动作发出跳闸命令, 但因为该断路器已于线路保护第一次动作时处于分闸状态, 所以 178 ms 时的保护动作并不能有效作用于该断路器以切除 110 ms 后的 A 相故障电流。

2.1.2 那么 01 单元的线路保护装置录波报告中 110 ms 后的 A 相故障电流从何而来呢? 通过巡线人员巡线结果知道, 此次短路过程是由于雷电活动引起。查阅有关资料我们知道<sup>[1]</sup>, 雷云与大地之间的放电时间很短, 以微秒计, 但却不是一次完成, 而是分级进行的。先导放电也并不是一次直接贯通地面, 而是间歇性的脉冲发展过程, 一般为 2、3 次, 最多可达 40 多次, 时间由几十毫秒到几百毫秒, 雷电压瞬间可达几万伏到几百万伏。从 01 单元的线路保护装置录波报告知此次连续故障过程大约 190 ms 左右, 在此认为此次雷电活动的时间覆盖整个故障过程。通过现场仔细观察 01 单元的一次设备, 包括断路器、电流互感器、母线侧刀闸、线路侧刀闸及其两侧引线, 发现一重要现象如图 5 所示, 在 01 单元 A 相电流互感器与断路器之间的引线凸出 P 点与断路器上引线端 Q 点有明显放电痕迹, 所以可以判断, 通过 01 单元线路引入的雷电 (P 点) 对 01 单元断路器上引线 (Q 点) 的 110 kV 电位放电, P、Q 两点击穿引起电弧重燃, 从而产生了 110 ms 后的 A 相故障电流。从图 2 可看出 01 单元 B 相由于同样原因在相似位置也出现轻微放电痕迹, 电流持续 40 ms 左右消失。这里把 110 ms 后的故障过程称第二次故障阶段。

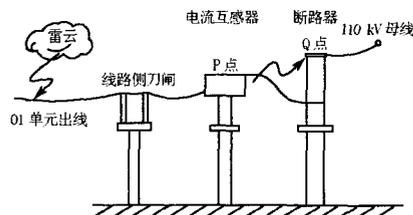


图 5 P、Q 两点间放电示意图

Fig.5 The diagram of penetrates between P and Q

### 2.2 分析<sup>[2-4]</sup> 110 kV 母线母差保护装置的录波报告

母差保护报文显示为 I 母 C 相差动作。

2.2.1 通过图 3 录波可以看出, 大差电流 (ID\_A、ID\_B、ID\_C) 的 AB 段为线路发生初始三相短路时出现的由于母线近端区外故障电流互感器饱和而产生的不平衡电流, 属于区外穿越性故障, 母差保护

可靠不动作,行为正确。BC段为中间阶段,此时01单元断路器三相处于分闸位置,无故障电流。

2.2.2 CD段为第二次故障阶段,在此阶段的图2、图3、图4中包含了相当丰富的故障信息。由前面分析知A相CD段的故障电流是由于01单元A相P、Q两点击穿电弧重燃引起。大差电流的变化情况如图3的CD段,可看出,  $ID_A$  仍然是由于区外故障电流互感器饱和而产生的不平衡电流;  $ID_B$  的CD段对应于图4中的  $L01_B$  的CD段(B相相似位置也出现放电痕迹,故障电流持续40ms左右消失);  $ID_C$  表现特殊,具有故障电流的特征。那么01单元一次系统A相P、Q两点击穿引起的二次故障电流理应符合图6所示路径,为什么母线保护的I母C相差动保护会动作呢?图3大差电流CD段的  $ID_C$  是从何而来的呢?

2.2.3 从图4可看出,03单元在CD段A相、C相同时出现明显大于负荷电流(负荷电流近似为零)的故障电流。由前面分析我们知道  $L03_A$  是由于A相P、Q两点击穿电弧重燃引起的故障电流。从变电站故障录波装置报告(略)及01单元线路保护装置的录波报告(如图2)分析,判定一次系统中C相并无故障现象发生。图4的  $L03_C$  从何而来?经仔细分析图4,发现03单元的  $L03_C$  与  $L03_A$  变化特征相近,相位恰好相反。根据这一重要线索可以确定,问题很有可能出在母差保护的03单元电流二次回路。

2.2.4 认真检查母差保护03单元LH二次回路,结果发现在03单元户外LH端子箱内C310、N310之间有明显的击穿痕迹(03单元母差保护电流二次回路编号为A310、B310、C310、N310),所以可以判断,在第二次故障阶段,由于03单元LH端子箱内的端子排C310、N310之间存在薄弱环节,发生了击穿,使03单元LH的A相二次故障电流通过如图7示意路径构成回路。

从图7中可以看出  $ID_A$  从母差保护装置03单元辅助小电流互感器A相原边绕组极性端流入非极性端流出后,由于03单元LH端子箱内C310、N310之间击穿造成母差保护装置03单元辅助小电流互感器C相原边绕组分流,  $ID_{A1}$  从N线流回N310,  $ID_{A2}$  从03单元辅助小电流互感器C相绕组的非极性端流入,极性端流出至N310,与此相对应,母差保护装置03单元辅助小电流互感器A相副边  $I_{da}$  从极性端流出, C相  $I_{dc}$  从非极性端流出,这和图4中

$L03_C$  与  $L03_A$  相位刚好相反(互差  $180^\circ$ )的录波结果是相互吻合的。

母差保护采用分相复式比率差动原理,动作量为母线上所有连接元件电流和的绝对值  $I_d = |\sum I|$ , 制动量为母线上所有连接元件电流的绝对值之和  $I_r = \sum |I|$ , 动作表达式为  $\{I_d \geq I_{dset} \& I_d / (I_r - I_d) \geq K_r\}$ 。分析C相差动回路,由于负荷电流很小在此忽略不计则  $I_d = I_r$ , 由表达式得  $I_d / (I_r - I_d) \gg K_r$ , 且  $I_{dc} > I_{dset}$ , 满足母差保护的動作方程,从而造成了110kV母线I母C相差动保护动作。至此母差保护I母C相误动原因基本查明。

2.2.5 对照图2和图3的时间顺序,由图3可以看出母差保护在第二次故障发生(第110ms处)后20ms左右,母线I母C相差动保护动作( $T_{OP}$ 变位,130ms处),于190ms左右跳开I母上所有断路器,切除故障电流(由前面分析知道从保护发出跳闸命令到断路器跳开切除故障电流的固有时间为50~60ms),由图2可以看出01单元线路保护第二次跳闸脉冲在200ms处返回。至此这次连续故障过程结束。

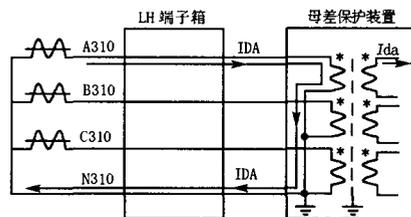


图6 A相故障二次故障电流正常路径(03单元)  
Fig.6 Normal ways of secondary fault current when phase A fault (unit 03)

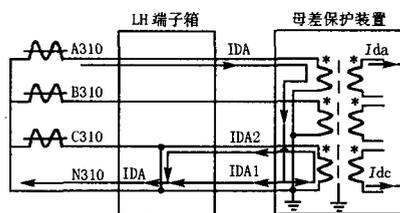


图7 A相故障LH端子箱处C、N击穿后二次故障电流路径(03单元)

Fig.7 Ways of secondary fault current after breakdown C、N phase A (unit 03)

### 3 分析总结

01单元线路保护第一次动作跳开01单元断路器,行为是正确的;01单元线路保护第二次动作时

该单元断路器已处于分位, 无法有效切除重燃故障电流, 此时保护动作但故障电流依然存在, 所以线路保护装置本身的第二次动作行为正确。

01 单元 A 相电流互感器与断路器的引线凸处 P 点与断路器上引线 Q 点放电引起电弧重燃, 引起 03 单元 LH 端子箱薄弱环节发生击穿, 造成 110 kV 母差保护 I 母 C 相差动保护误动作。针对该站此次具体事件, 若无此次母差保护动作, 只能由 03 单元、04 单元电源侧的后备保护动作来切除故障, 这样将造成全站失压。所以在这种类似于断路器失灵 (即第二次故障阶段 01 单元线路保护动作、故障电流依然存在) 的故障情况下, 应考虑 110 kV 各单元的保护配置上增加断路器失灵保护, 防止发生类似事故时由上级保护动作造成事故范围扩大。

#### 4 经验教训及防范对策

1) 在事故调查过程中测量电流互感器与断路器间引线凸处 P 点与断路器上引线端 Q 点的距离, 符合有关规程规定的安全距离。此次连续故障由雷电活动引起, 雷电瞬间电压可高达几万伏到几百万伏, 虽然 P、Q 两点间距离符合规定, 但 P 点“凸处”增加了由于雷电高电压击穿的几率, 所以建议在一次设备安装时注意施工工艺和方法, 避免一次设备间的连线与一次设备之间形成过度的“凸处”, 在新安装一次设备的验收过程中也应引以为戒。

2) 对于微机保护装置来讲, 一般安装在主控室或保护小室内, 运行环境良好, 其运行经验成熟, 性能稳定, 微机保护装置的程序一经固化, 保护动作逻辑的正确性主要取决于外部交流电流、交流电压的输入回路及外部开关量的开入回路等, 所以对二次回路各个环节的接线必须保证正确, 连接一定要可靠、紧固。目前, 已经选用质量优良的电流端子排, 对该站 110 kV 设备区所有端子箱内的电流端子进行了更换。

3) 运行单位在设备巡视时不仅要注重一次设备的巡视, 更要充分认识二次回路巡视的重要性, 加强和提高二次回路的巡视质量。特别多雨、冬雪季节要注意户外端子箱内的凝露现象, 及时更换干燥剂, 根据现场运行环境, 必要时增加温度自动控制的加热器回路, 做好防潮措施, 避免由于受潮引起的端子排的锈蚀、接触不良或不正常发热, 从而诱

发端子排之间的短路、开路, 进而造成继电保护装置的不正确动作。

4) 检修单位应严格开展定期性校验工作, 保证检修质量。继电保护人员在保护装置的定期检验中不能只偏重于对保护装置本身逻辑功能的检验, 一定要注意对二次回路的整体情况进行检查, 包括二次回路的连接是否紧固, 绝缘状况是否良好等, 对于交流电流、电压回路的绝缘检查, 不仅要检查整体对地的绝缘情况, 还要检查相对地、相与相之间的绝缘情况, 有利于及时发现隐蔽性缺陷, 保证一二次设备的健康稳定运行。

#### 参考文献

- [1] 陈慈萱. 电气工程基础 (下册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
CHEN Ci-xuan. Electrical Engineering(II) [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 王春生, 卓乐友, 艾素兰. 母线保护 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.  
WANG Chun-sheng, ZHUO Le-you, AI Su-lan. The Bus protection [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.
- [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: 中国电力出版社, 2001.  
Country Electric Power Dispatching Communication Center. Analysis of Power System Relay Protection Typical Failure [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.  
Country Electric Power Dispatching Communication Center. Power System Relay Protection's Regulations Compile [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.

收稿日期: 2007-01-17; 修回日期: 2007-04-04

作者简介:

许西平 (1977-), 男, 本科, 助理工程师, 长期从事电力系统继电保护及自动装置运行管理工作; E-mail: slxxping@126.com

杨宗韬 (1977-), 男, 本科, 助理工程师, 长期从事电力系统继电保护及自动装置运行管理工作;

寇轶 (1980-), 女, 本科, 助理工程师, 长期从事电力系统高电压试验工作。