零序保护误动导致装置停车的原因分析与处理

针对一起零序电流互感器二次回路接线错误导致保护装置误动作的事故，从保护装置逻辑配置到零序电流互感器二次回路全面检查，发现该故障并非由单一原因造成。通过对电气故障原因进行详细分析，最终提出了切实可行的改进方案并实施整改，对今后避免出现类似故障具有一定参考借鉴的价值。

王子洋/中国石化股份公司茂名分公司热电分部电气二车间

王子洋/高级工程师

关键词/Keywords
零序·
电流互感器·
接线方式·

0　引言

中性点不接地或经消弧线圈接地方式可带单相接地故障运行2 h，以保证对用户的不间断供电。小电流接地系统中性点无论是不接地或经消弧线圈接地，以及中性点经小电阻接地的零序保护均需要零序电流互感器。然而，在零序电流互感器的安装使用上出现了许多问题，如电缆屏蔽层接地线安装方式不正确，零序互感器二次接线不正确，会成为隐性故障，在系统正常运行的情况下不易被发现。但在多种因素的共同影响下会导致零序保护的误动作跳闸，造成不必要的损失。因此，对零序电流互感器的安装需要高度重视。通过对某化工企业的零序互感器接线错误导致保护误动的分析来对此加以阐述。

1　某化工企业的一次接线及保护配置情况

主变压器接线组别为YNd11，110 kV±8×1.25%/6 kV，6 kV系统为经消弧线圈接地系统。I段母线下带有3条馈线：1#厂用电源、区域变压器1#和裂解1#电源，如图1所示。

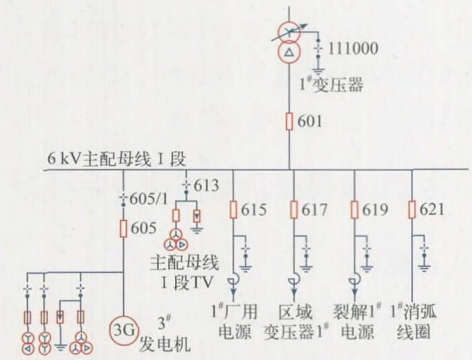

图1　某化工企业变电站一次接线图

配置的保护有差动保护、时限速断保护、低压闭锁差动及时限速断和单相接地保护。其中单相接地保护整定值为一次值3 A，动作于发信。采用的是ABB REL551线路保护装置和紫光DCAP3000保护装置。电流相关保护由ABB REL551线路保护装置实现，电压保护由紫光DCAP3000来实现。DCAP3000低电压保护出口接到ABB REL551线路保护装置的开入，组成低压闭锁差动及时限速断保护。保护配置的二次原理简图如图2所示。

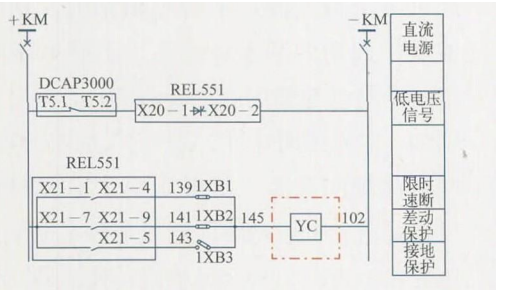

图2　保护装置的二次原理简图

ABB REL551是一种分相线路光纤差动保护装置，为变电站和工业配电系统的保护、控制、测量和监视而设计，可

中国知网　https://www.cnki.net

用作配电网中架空线和馈线单元保护的主保护，还配有过电流保护功能，对于下一级保护测控装置的远方后备以及本级线路差动主保护的近后备保护。REL551装置采用模块化的逻辑配置，在调试软件CAP531图形配置中进行I/O配置，结合使用不同的逻辑门和定时器，可以对保护装置建立一些特殊的逻辑回路，满足不同的保护需求。也正是因为装置逻辑配置灵活，就要求调试人员相当熟悉保护模块的使用和逻辑，否则就会在装置投用后留下不易被发现的隐患。

2 6 kV馈线保护跳闸情况与分析

2.1 故障现象

值班电工发现监控后台报主配617#柜（配区域变压器1#）“复闭过电流”保护跳闸信号，617#柜断路器跳闸。值班电工现场检查，发现线路保护装置REL551“复闭过电流”、“复闭信号”和“跳闸”指示灯长亮。通过查看保护装置动作记录，电流：A相为1 032 A，B相为1 039 A，C相为1 032 A，零序为124.8 A。

2.2 故障原因分析

复闭过电流保护就是采用复合电压闭锁过电流保护，是一种跟电压有关的“过电流保护”。闭锁就是关闭、锁住的意思，就是由复合电压来控制的过电流保护。电流与电压都要达到某个条件时才动作，其中只要有一个不达到整定的条件就不会起动保护。如果仅仅是过电流条件，电流超过某个最大值，不会起动保护。复压闭锁过电流保护起动的基本条件是：正序电压降低、负序电压升高（与整定值比较而言），并且相电流同时增加，满足延时条件，则保护动作出口。避免了一些电流瞬间升高，但电压变化不大的非故障情况（比如电动机起动瞬间电流是额定电流10倍，但电压变化不大），导致保护误动作。因此，可以将过电流整定值减小，从而可以提高保护的灵敏性。

因为出现了“复闭过电流”动作信号，可能是线路或下游变电所发生短路故障造成的。值班人员对线路电缆绝缘进行检查，但相对地、相间绝缘均合格。下游变电所未发现有保护动作，线路所带母线有6 kV电动机起动，但电动机保护装置未发现有保护动作记录。保护装置记录有较大的零序电流。该6 kV系统是经弧线圈的小电流接地系统，如果发生接地故障，母线故障相的电压应为0，非故障相电压应上升为线电压，零序电流应在4～6 A之间。通过检查故障录波屏，并未发现6 kV母线有电压波动现象。检查保护装置整定值，电压整定值低压定值为70 V，负序电压6 V；电流整定值为19 A，0.8 s，TA电流比为2 500/5，一次值需要达到9 500 A才会动作，与动作记录的电流值1 039 A相差较大，未达到过电流整定值。

该回路在大修期间刚完成整定值调整。因考虑到相间短路点如果发生在断路器与电抗器之间，如图3所示，短路电流与母线短路电流相当，在70～75 kA之间。馈线断路器的遮断容量为31.5 kA，不足以将短路电流切断，需要由进线断路器将故障点切除。因此，将原来的复闭过电流保护改为低电压闭锁时限速断保护，电流定值为时限速断19.4 A，0.9 s，低电压25 V闭锁时限速断。也就是当线路出现电流大于时限速断整定值，并且母线电压低于电压整定值，馈线保护不应动作，而是由进线保护动作跳闸将故障切除。当线路电流大于时限速断整定值，母线电压未下降到电压整定值，馈线保护应动作跳闸将故障切除。

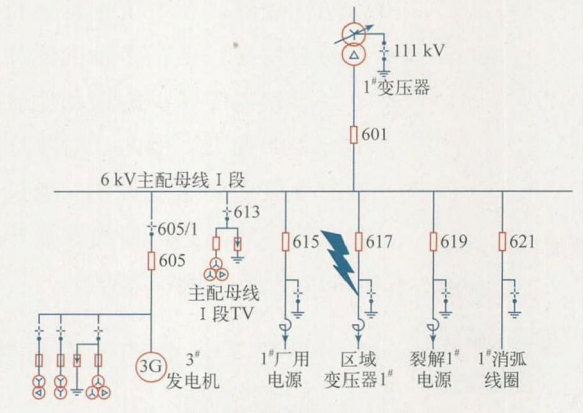

图3 断路器与电抗器之间发生短路

进一步检查，下载REL551线路保护装置的逻辑，发现时限速断保护模块选用的是接地及相TOC功能模块。如图4所示，发现该模块内除了时限速断外，还有零序过电流保护，设定值为10 A

中国知网 https://www.cnki.net

（对应一次100 A），10 s，该零序保护无法在TOC模块中单独退出，检测的是装置上I_4的电流。动作记录的零序电流为124.8 A，已经超过了设定值。专业人员对保护装置TOC模块内的零序过电流进行试验，证实该保护能按照设定值正确动作，排除了保护装置误动的可能。

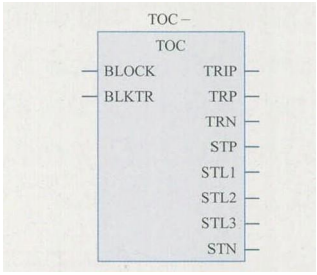

图4　TOC过电流接地模块

在整定值调整前，由于复压条件不满足，该TOC功能模块一直处于闭锁状态，所以该线路在以往的运行过程中即使存在零序电流并超过了整定值，但也不会触发保护误动作。这就是因为对保护装置内部功能的不甚了解，导致难以发现保护装置存在零序电流的隐性问题。当在大修期间进行整定值调整后，正常运行时电压不满足闭锁条件，该TOC功能模块一直处于开放状态，在零序电流达到整定值后造成保护装置TOC模块内零序过电流动作而发生跳闸。

2.3　不明零序电流的查找分析

此次线路跳闸的原因找到了，但是在6 kV经消弧线圈的小电流接地系统中，保护装置为什么会测量到有124.8 A的零序电流？

该故障回路因为负荷较大，使用三根三芯电缆并联，并使用了三个零序互感器。在对二次回路的检查中发现零序回路存在电缆屏蔽层接地线安装不正确，如图5所示。电缆中的电容电流方向，如图6所示，电容电流：$I_a+I_b+I_c=0$。因电缆较长，受本线路或相邻电缆磁场影响，在电缆屏蔽层中地电位不能完全相等，产生感应电流$I_1+I_2=0$，零序互感器检测到电流I_1。负荷电流增大，会使感应电流增大。因此，在零序互感器中会产生较大的零序电流。

进一步的检查发现零序电流互感器二次接线

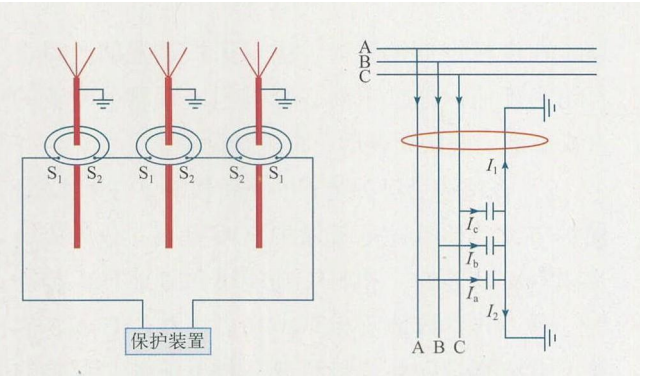

图5　原电缆屏蔽线接法　　图6　电容电流方向

有误，三个零序互感器采用的是串联接线方式，但是在第三个零序互感器中S_1与S_2的位置却是反接。若一回出线中有两根以上电缆并联，且每根电缆上分别装有零序电流互感器，零序电流互感器二次线圈的连接方式应为串联或并联。

查阅相关材料得知，三芯电力电缆两终端处的金属屏蔽层（均匀导电线芯和绝缘电场）必须接地良好，电缆终端头穿过外附零序电流互感器的相对位置要安装正确。电缆通过零序电流互感器时，电缆头至零序电流互感器的一段电缆金属护层和接地线应对地绝缘，对地绝缘电阻值应不低于50 kΩ，电缆金属屏蔽接地点（电缆接地线与电缆金属屏蔽层的焊点）在互感器以上时，接地线应穿过零序互感器铁心窗口后接地；在互感器以下时，接地线应直接接地。以上做法是为了防止电缆接地时的零序电流在零序电流互感器前面泄漏，造成误判断；经电缆金属保护层流动的杂散电流由接地线流入大地，也不与零序电流互感器匝链，杂散电流也不会影响正确判断。

3　解决措施

此次零序电流互感器接线错误的事故并不是由单一原因造成，是在多种因素的共同作用下造成的，为了避免此类事故的再次发生，采取以下措施。

1）定值调整前进行保护逻辑审查评估。保护整定值的调整，使电流保护由以前的闭锁状态，调整为开放状态。虽然这并不是引发故障的原因，但这为保护的误动作提供了条件。REL551保护逻辑配置比较灵活，同时也比较容易出错，如有模块间的连接不正确、选用模块不合理等问

中国知网　https://www.cnki.net

题。在进行定值调整前，需对保护装置的逻辑进行检查评估，通过车间、分部到公司相关专业的多人审核，确认无误后，再进行调整。

2）合理选用保护装置的逻辑模块。在REL551保护装置中延时过电流保护TOC模块，分为接地及相TOC功能块、相TOC功能块和接地TOC功能块三种。其中接地及相TOC功能块和相TOC功能块，电流测量元件连续测量三相电流并与设定的动作值IP>进行比较。如果任一相电流大于设定值IP＞，则一个公共的起动信号STP及实际的相起动信号动作，定时器t_P起动，经设定的时间后，相过电流跳闸信号TRP起动，总跳闸信号TRIP也起动。但接地及相TOC功能块还有零序电流测量元件连续测量零序电流并与设定的动作值IN＞进行比较。如果测量电流大于设定值IN＞，起动信号STN动作，定时器t_N起动，经过设定的时间后，零序过电流跳闸信号TRN起动，总跳闸信号TRIP也起动。因为选用了接地和相过电流TOC模块，当零序电流超过设定值，也会触发模块动作，造成保护装置误动。应选用仅判断相过电流TOC模块，仅在相电流超过设定值才触发模块动作，选用单独的相过电流TOC模块，避免零序电流的影响。

3）调整保护装置零序电流输入端接线。在REL551保护装置中零序电流有2个输入接口，分别为I4、I5，如图8所示。其中I4用于接地和相过电流模块TOC的零序电流输入，当零序电流超过整定值会与相过电流保护同一出口动作。该保护装置零序电流保护专用模块TEF，对于零序电流测量是可以选择I4或者I5。因此，为使零序保护与过电流保护可以分开投退，避免相互影响，将零序电流模拟量输入由I4端子改接到I5端子。将TOC模块内的零序过流整定值设置为最大值，避免保护误动作。

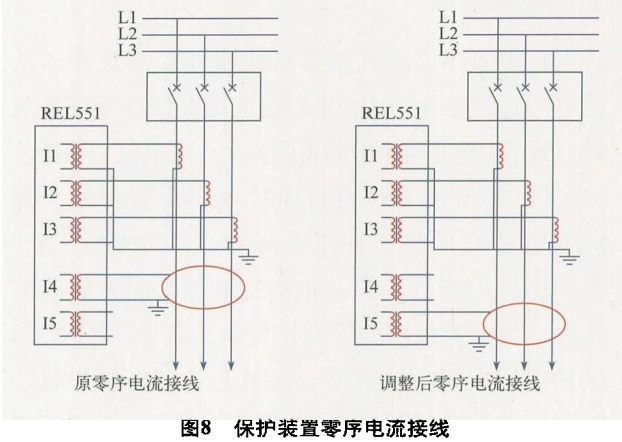

图8 保护装置零序电流接线

4）核查零序电流互感器的接线。为使三组零序电流互感器实现串联接法，将第三组零序互感器S_1、S_2接线互换，同时将三组接地线改为穿过零序互感器铁心窗口后接地，如图9所示。整改后的电容电流方向如图10所示，电缆金属屏蔽接地点在互感器以上时，接地线穿过零序互感器铁心窗口后接地，感应电流被抵消，零序电流互感器中感应的电流为$\dot{I}_a$、$\dot{I}_b$、$\dot{I}_c$的矢量和。

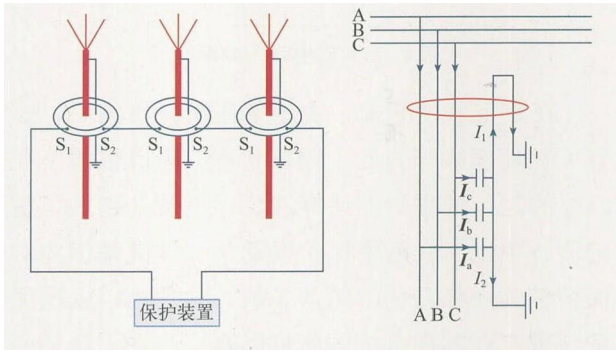

图9 整改后电缆屏蔽线接法　图10 整改后电容电流方向

4 结束语

本文介绍了一起零序互感器错接导致保护误动事故，分析了造成误动的原因，讨论了零序电流产生的原因，并提出了消除异常零序电流措施。同时给予一个启示：对于零序电流互感器的使用和保护装置的配置，首先要深刻理解标准的含义，并结合现场的实际情况，采用合理的接线和保护逻辑配置，确保继电保护装置安全可靠运行，才是正确的选择。

参考文献

[1] 杨耀根．开关柜中零序电流互感器安装接线的几点要求[J]．高压电器，1996(3)．

[2] 梁俊熙．10 kV电缆屏蔽层接地不当导致的故障分析[J]．科技视界，2012(30)．

[3] 高士涛，等．浅谈中压开关柜中零序电流互感器的选型问题[J]．继电器，2007(22)．

（收稿日期：2016－05－21）EA

中国知网 https://www.cnki.net