

高压电动机启动瞬间产生零序过流告警的实例分析及对策

焦姣娟¹ 杨楠²

中天合创能源有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯市 017399

摘要: 本文从电动机单相接地保护原理、10kV电缆屏蔽层中的感应电流及零序电流互感器接线细节等方面综合分析某变电所10kV高压电动机在启动瞬间产生零序过流告警的原因,并提出解决方案。

关键词: 电动机; 启动; 零序电流; 互感器

在10kV小电流接地系统中,目前广泛采用的是三芯电力电缆,系统中的电容电流为电缆产生的电容电流,电容电流随所带设备数量的增加而增大。当系统或电缆发生单相接地短路时,势必会有较大的短路电流产生。为能快速切除接地故障,10kV系统电缆出线柜均配置了零序电流互感器,用于检测零序电流,为此要求10kV三芯电力电缆屏蔽接地必须两点可靠接地,即钢铠接地和铜屏蔽层接地。但经常会出现因施工大意或者其他原因导致电缆两点的接地错误或者没有可靠接地,导致零序电流保护误动或误报信号。

本文通过一起10kV高压电动机启动瞬间有零序电流产生并触发报警事件的原因分析,来说明10kV电缆屏蔽接地的重要性。

1 报警现象的产生

某变电所10kV系统为中性点不接地的小电流系统,10kV高压电动机设置了单相接地保护^[1],用于保护设备及人身安全。单相接地保护的作用原理为零序电流互感器采集三相电流的向量和,当发生单相接地时,三相电流失去平衡,在零序电流互感器铁芯中产生磁通,互感器二次侧线圈中感应出零序电流,感应电流流过保护元件,当达到保护装置的整定值时,作用于跳开断路器或发出告警信号。

根据《GB/T 14285-2006继电保护和安全自动装置技术规程》中4.13.3 要求:对单相接地,当接地电流大于5A时,应装设单相接地保护。单相接地电流为10A及以上时,保护动作于跳闸;单相接地电流为10A以下时,保护可动作于跳闸,也可动作于信号(电动机保护)。

经归算,该变电所10kV系统单段母线的单相接地电容电流为4.7A。根据《工业与民用供配电设计手册 第四版》中要求^[2]:电动机单相接地保护的跳闸值按照被保护元件发生接地短路有灵敏度($K_{sen} = 1.3$)进行整定,即变电所

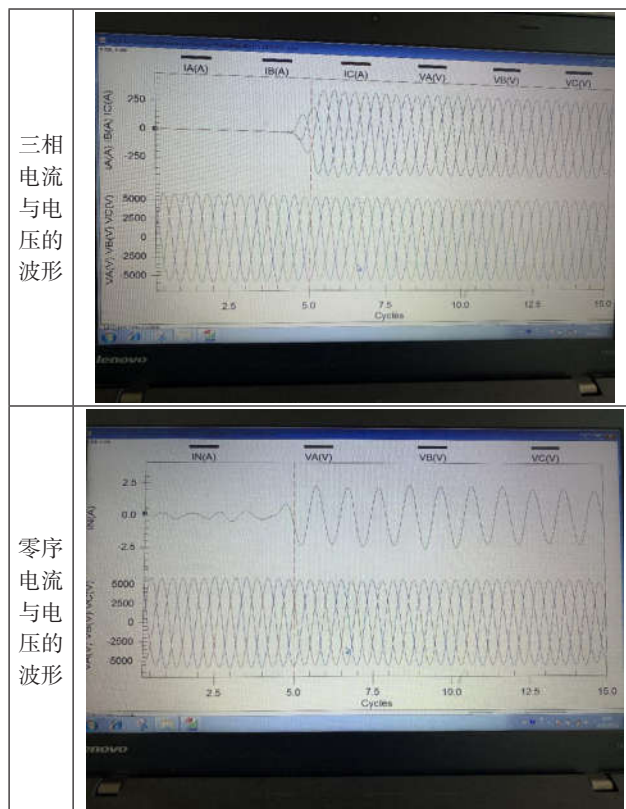
10kV电动机的接地跳闸值为3.6A,因该变电所所用的保护装置SEL-751A的接地跳闸保护元件设置最小值为5A。

故该变电所10kV高压电动机的单相接地保护设置为:

1.5A(一次值),0.5s告警;5A(一次值),0.2s跳闸。

该变电所自投用以来,高压电动机每次在启动瞬间都有零序电流产生,且零序电流较大,持续时间较长。当零序电流大于单相接地保护告警值时,保护装置会发出告警信号,所产生的零序电流及报警信号均在电动机启动过程中存在、当电动机达到正常运行状态时零序电流消失。

电动机启动过程的电压、电流波形图如下:



从故障录波数据及波形图上可以看出:

- 1) 启动电流为正常运行电流的6-8倍, 零序电流互感器采集到的零序电流在2.4A左右。
- 2) 电压波形平稳无异常, 为标准正弦波。
- 3) 电机启动完成, 达到正常运行状态后, 零序电流消失。

2 检查与测试

高压电动机零序过流报警产生的原因分为以下几种: 电缆或电动机接地故障, 零序电流互感器故障或接线错误, 保护装置误动, 电缆屏蔽接地异常等, 下面针对几种原因进行逐一检查分析。

2.1 检查电缆和电机的绝缘性能

对电机和电缆分别进行检查, 使用2500兆欧表检查电动机的相间绝缘及相对地绝缘, 测量值均为2500兆欧, 在合格范围内;

对电缆做分相耐压试验, 数据合格;

检查电机、电缆外观良好, 均正常, 无接地现象。

2.2 检查零序电流互感器

零序电流互感器安装牢固;

二次接线紧固, 没有松动现象;

外观正常, 无破损痕迹;

通过电流采样, 校验零序电流互感器的变比数据, 与实际铭牌一致;

零序电流互感器变比选择的判断: 此零序电流互感器选用的变比为50/1, 该10kV系统为小电流接地系统, 产生的零序电流均为电缆的电容电流, 本身系统接地电流不大, 考虑零序电流互感器的负荷特性及实际负载阻抗, 选择50/1的变比, 可以避免较大的误差出现。所以, 变比选择没问题。

2.3 检查保护装置的参数设置及可靠性

此电动机柜使用的保护装置为SEL综保, 检查保护装置(型号: SEL-751A)的保护定值设置、互感器的变比设置及基本参数设置均正确; 逻辑功能齐全, 符合保护定值的设置要求。

停机对保护装置做整定校验, 试验数据均合格, 保护装置可靠动作, 无异常。

电动机的单相接地告警定值设置为1.5A, 0.5s, 启动时的零序电流在2.4A左右, 且持续时间大于0.5s, 保护动作正确。

2.4 检查电缆屏蔽层接地

检查电动机的电缆外护套, 外观完好, 未发现电缆有破损情况;

电缆母线侧屏蔽接地和电动机侧屏蔽接地均完好,

无松动现象。

检查电缆终端头与零序电流互感器穿心部位的位置关系, 发现异常情况如下: 由三相电缆线铜屏蔽层汇集出来的“接地编织带”在零序电流互感器的内部中间位置, 没有完全穿过零序电流互感器(如图1)。



图1: 高压电动机零序电流互感器实际位置

该接线方式与《GB 50168-2018电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》中6.2.9条^[3]要求不符。规范要求: 三芯电力电缆终端处的金属护层必须接地良好; 塑料电缆每相铜屏蔽和钢铠应锡焊接地线。电缆通过零序电流互感器时, 电缆金属护层和接地线应对地绝缘, 电缆接地点在互感器以下时, 接地线应直接接地; 接地点在互感器以上时, 接地线应穿过互感器接地。

3 告警原因分析

3.1 稳态运行

电动机单相接地保护的基本原理是基于基尔霍夫电流定律: 流入电路中任一节点的复电流的代数和等于零, 是利用零序电流互感器作为取样元件, 在电动机稳定运行的理想状态下, 流过零序电流互感器的电流表达式为:

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C \quad (1)$$

当电动机绕组、电缆状态正常无故障时, 三相电流(A、B、C)幅值相同, 相位互差120°电角度, 向量和为零, 即: $|\vec{I}_0| = 0$, 无零序电流, 零序电流互感器的二次侧绕组无信号输出, 执行元件不动作。

3.2 启动瞬间

在启动瞬间, 由于开关三相合闸角度不同、同期性存在差异及电动机绕组磁滞效应影响, 会使三相电流产生较大的非周期分量, 在铜屏蔽层中产生不稳定的感应电流, 此时:

当三相铜屏蔽汇集编织带穿过零序互感器时, 流过

零序互感器的电流表达式为:

$$\begin{aligned}\bar{I}_0 &= (\bar{I}_A + \bar{I}_a) + (\bar{I}_B + \bar{I}_b) + (\bar{I}_C + \bar{I}_c) \\ &= (\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) + (\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c)\end{aligned}\quad (2)$$

②式中: \bar{I}_a 、 \bar{I}_b 、 \bar{I}_c 为三相电流在屏蔽层中产生的感应电流。

当三相铜屏蔽汇接编织带不穿过零序电流互感器时, 流过零序电流互感器的电流表达式仍与①式相同, 为: $\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$ 。

在此种情形下, 互感器线圈中缺少了本应该流过的屏蔽层感应电流, 在启动瞬间, 由于相电流非周期分量的存在, 其向量和是不为零的, 有零序电流的产生。零序电流只有随着电动机启动过程的完成, 非周期分量充分衰减后, 才能恢复为零。

4 结论

综上所述, 可以分析出, 在电动机启动瞬间产生零序过流告警的原因有两种。

(1) 根本原因:

1) 由于电缆三相铜屏蔽汇接编织带(接地线)没有完全穿过零序电流互感器, 在电动机启动瞬间, 受相电流

非周期分量产生的感应电流影响, 零序电流互感器所采集到的电流向量和不为零, 二次绕组感应到零序电流, 零序电流值达到继电保护装置整定值而发出告警信息。

2) 随着电动机启动过程的完成, 相电流非周期分量逐渐衰减, 达到稳定运行状态, 零序电流消失, 告警消失。

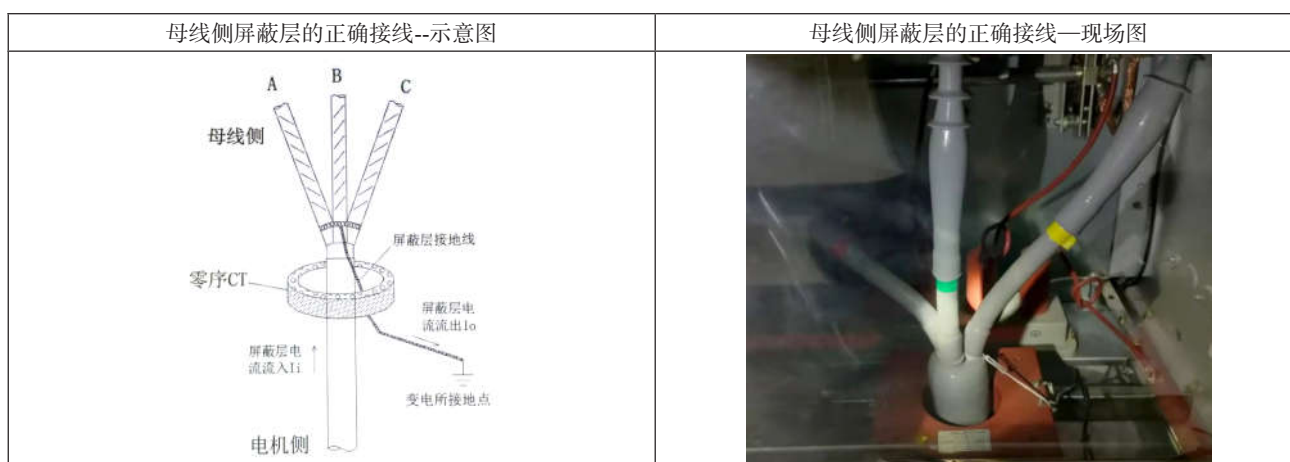
(2) 直接原因:

施工过程中安装不规范, 未严格按照规范执行, 安装人员细节把控不到位, 电缆三相铜屏蔽汇接编织带(接地线)虽可靠连接在中压柜的接地铜排上, 但未将汇接编织带(接地线)完全穿过零序电流互感器。导致问题一直存在, 接地告警一直困扰电气运行人员, 间接浪费不必要的人力物力和精力用来查找问题原因。

5 处理办法及避免措施

5.1 严格按照规范调整互感器的安装位置

三芯电力电缆终端处的金属护层必须接地良好; 塑料电缆每相铜屏蔽和钢铠应锡焊接地线。电缆通过零序电流互感器时, 电缆金属护层和接地线应对地绝缘, 电缆接地点在互感器以下时, 接地线应直接接地; 接地点在互感器以上时, 接地线应穿过互感器接地。



按照规范的要求对该电动机10kV电缆的屏蔽层接线及零序电流互感器的位置重新调整后, 电动机多次进行启动试验, 同时捕捉启动电流数据, 发现零序电流均在1A以下, 且很快消失。与同容量、零序电流互感器位置安装正确的电动机启动数据进行对比, 启动过程中产生的零序电流相近。由此说明零序电流互感器位置调整正确, 同时运行过程中监测到的数据恢复正常, 问题已得到根本解决。

5.2 拓宽问题分析角度和思路

此电动机启动瞬间产生零序过流告警事件虽未对电力系统和电气设备造成实质性影响, 但频繁告警的发生

已对运行人员产生很大困扰。分析和处理整个事件的实践经验表明: 对待电气故障或异常告警, 不能仅局限于稳态测试数据, 而应结合原理, 从事件发展的暂态过程出发, 理论联系实际分析和解决问题。

参考文献:

- [1] 刘介才. 工厂供电. 机械工业出版社(第五版)
- [2] 工业与民用供配电设计手册(第四版), 中国电力出版社, 2016
- [3] 《GB 50168-2018电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》, 中国计划出版社, 2018