「电力系统」

一起10 kV系统单相接地故障的分析及处理

文/国网宁夏吴忠供电公司　王亚芳

对一起由10 kV线路单相接地后，未能及时切除故障线路而引起的10 kV母线半绝缘电压互感器爆炸故障进行分析，通过理论分析查找出故障原因，为避免此类故障的再次发生，对设备管辖下的半绝缘与全绝缘电压互感器进行比较，结合理论与现场实际经验提出相应的预防措施。为变电站运行人员和检修人员以后处理该类故障提供了依据。

某110 kV变电站在运行时（母联断路器500处于分闸状态），运行人员接收到10 kV线路某线报出单相接地故障信号，查看后台监控装置，发现U_a＝10.1 kV，U_b＝10.3 V，U_c＝0.2 kV，$3U_0$＝89.2 V。随后运行人员查看故障录波器10 kVⅡ段母线波形，其中U_a＝100.1 V，U_b＝99.7 V，U_c＝0.1 V，U_{ab}＝100.9 V，U_{bc}＝99.8 V，U_{ca}＝102.3 V，$3U_0$＝97.3 V。电力系统在运行中， 虽然中性点不接地系统发生一相接地时并不破坏系统电压的对称性， 接地电流很小，一般允许运行 2 h，但为了防止再发生一点接地时形成短路故障，一般要求及时发出告警信号，以便值班员酌情处理。随后调度人员进行接地点查找，但在查找过程中，发生10 kVⅡ段电压互感器烧毁。

现场检查及处理

1．现场检查

1）现场进行检查发现，10 kVⅡ段电压互感器C相烧化（如图1），致使C相电压降低为0。

2）此次接地过程大致为，先是10 kV出线发生间歇性接地，经一段时间后线路永久性接地（如图2），随后母线电压互感器超过额定电压，绝缘烧毁，致使母线永久性接地。

3）首先对10 kV母线进行了检查（该变电站10 kV系统母线为Ⅰ、Ⅱ段），三相的相间及对地绝缘均为10万MΩ，母线耐压为38 kV，通过母线试验，情况正常。

图1　C相电压互感器烧化

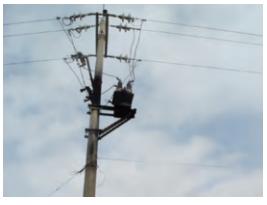

图2　故障线路接地处

2．处理过程

将原有的半绝缘电压互感器更换为全绝缘电压互感器，进行高压试验，所有试验项目均合格。更换完毕后，投入电压互感器柜，系统电压恢复正常。

故障原因分析

电力系统中性点运行方式有不接地、经电阻接地、经消弧线圈接地或直接接地等接地方式。我国电力系统目前所采用的中性点接地方式主要有三种：即不接地、经消弧线圈接地和直接接地。10 kV系统就属于中性点不接地系统。正常运行时，三相电压大小相等，相位互差120°，在中性点不接地的三相系统中，当一相发生接地时：未接地两相的对地电压升高到$\sqrt{3}$倍，即等于线电压，所以，这种系统中，相对地的绝缘水平应根据线电压来设计。

由于C相发生了单相接地，则C相对地电压变为0， 而其他两相的对地电压升高$\sqrt{3}$倍。矢量关系如图3所示。

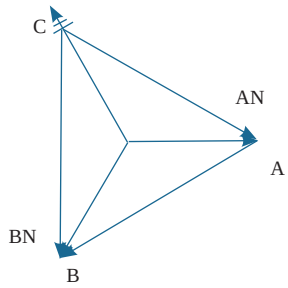

图3　单相接地矢量图

在C相接地后，各相对地电压为

$$\boldsymbol{U}_{C-D}=0$$

$$\boldsymbol{U}_{A-D}=\boldsymbol{E}_A-\boldsymbol{E}_C=\sqrt{3}\boldsymbol{E}_C e^{-j150}$$

$$\boldsymbol{U}_{B-D}=\boldsymbol{E}_B-\boldsymbol{E}_C=\sqrt{3}\boldsymbol{E}_C e^{+j150}$$

故障点d的零序电压为

$$\boldsymbol{U}_0=\frac{1}{3}(\boldsymbol{U}_{A-D}+\boldsymbol{U}_{B-D}+\boldsymbol{U}_{C-D})$$

通过以上分析：当中性点不接地系统发生单相接地故障后，非故障相（A相和B相）相电压升高$\sqrt{3}$倍，电压中性点发生偏移，由于相电压的升高，可能引起10 kV系统产生过电压，另外，10 kV系统发生单相接地后正常相电压升高，由于半绝缘设备的首末端绝缘不一致，致使绕组烧损。或是由于发生单相接地后，可能由于频率和参数的匹配问题，导致谐振过电压，造成半绝缘电压互感器的破坏程度的叠加，最终导致C相电压互感器烧损。

10 kV母线安装电压互感器按其运行承受的电压不同，可分为半绝缘和全绝缘电压互感器。半绝缘电压互感器在正常运行中只承受相电压，全绝缘电压互感器运行中可以承受线电压，这是二者的不同之处。

（1）接线方式不同

半绝缘电压互感器高压N极必须直接接地运行，在配电系统中变电站、开闭站、高压用户终端等需要安装电压互感器，诸多的半绝缘电压互感器的并联运行，在系统稍有不对称时，很容易激发形成高幅值的铁磁谐振过电压，并联数越多越容易发生；全绝缘电压互感器可以直接接地运行，也可以间接（接电阻、零序压变等）接地运行，还可以V形接线不接地运行。

（2）防谐措施不同

半绝缘电压互感器采用二次开口三角绕组上加装专用消谐器，或并联灯泡，或并联电阻抗谐振；全绝缘电压互感器除了可以采取上述措施外，还可以在高压中性点串联电阻消谐。全绝缘电压互感器由于正常运行处于降压运行状态，励磁性能比较好。有效防止铁磁谐振过电压，必须多管齐下、多种措施并用才能奏效。

（3）单相接地承受的电压不同

半绝缘电压互感器在系统单相接地时，需要承受线电压的冲击，一般运行不得超过2 h，长期运行可能造成击穿故障；全绝缘电压互感器在系统单相接地时，承受的是额定电压。此次故障就是由于10 kV线路在发生单相故障接地后，没有尽快将故障线路切除，而使10 kV半绝缘电压互感器承受的电压超过额定电压，导致绝缘被破坏。

预防措施

1）发生10 kV母线电压互感器烧毁后，生产管理部门与检修班组共同对管辖范围内所有10 kV电压互感器的绝缘形式进行深度排查，并结合现场母线柜的空间尺寸进行统计，满足更换全绝缘电压互感器的母线柜进行现场更换，不满足更换要求的进行归档整理，作为以后整改的准备资料。

2）此次发生10 kV线路单相接地所引起的母线电压互感器烧毁事故，说明了在10 kV线路出现故障后，故障线路与故障点的查找方式值得商榷，根据10 kV系统电压互感器的绝缘形式统计结果来看，超过85%的电压互感器都属于半绝缘形式，如果今后再次发生10 kV系统单相接地，若不能及时切除故障线路，母线电压互感器的烧毁无法避免。

3）为避免在发生单相接地后，由于线路电容与系统电感可能产生谐振过电压，对原本已经承受过电压的半绝缘电压互感器造成累加冲击，建议在10 kV系统母线柜内安装消谐器。

4）为提高10 kV单相接地后，能够在第一时间查找出故障线路，某些供电单位通过变电站利用零序电流互感器来完成故障线路的选择，此类保护方式没有全面推广，为10 kV线路出现单相接地故障后，查找故障线路带来了很大的困难。建议能够深入推广零序电流互感器的保护方式。EA

（收稿日期：2014.12.05）