1前言

　　电力变压器是电力系统的重要设备。运行经验表明：近几年电力系统变压器故障呈现出不断上升的趋势，而变压器铁心多点接地故障是一种较为常见的故障。统计表明，铁心多点接地故障占变压器总事故的前三位，电力企业经常需要进行计划外的停电检修，造成人力、物力、财力的巨大浪费。就平顶山供电公司而言，近二十年来，共有7台110kV～220kV变压器发生铁心多点接地故障。笔者结合一台110kV变压器出现的铁心多点接地故障，给出类似故障的查找、原因分析及处理方法。

　　1995年5月4日，在周期性预试时发现某变电站110kV主变（以下简称P4变）铁心绝缘为零，其他试验项目均合格。该主变型号为SFZ7-31500/110，额定电压为110kV/10.5kV，1994年4月投运，1992年10月出厂。

　　2带电测量及试验情况

　　P4变铁心绝缘为零，绕组介质损耗因数、直流电阻、吸收比均合格，说明故障点不在电气回路和主绝缘部位。发现P4主变铁心绝缘为零后,用万用表测量铁心对地的阻值，其电阻为450kΩ，说明P4主变铁心系高阻多点接地故障。随后用电容器充放电法进行处理，效果不明显，仍为高阻接地故障，说明该变压器铁心多点接地的故障点是稳定的。取油样进行色谱分析，没有发现乙炔，总烃42μL/L。

　　将该变压器投入运行，用钳形电流表带电测量铁心接地引下线的电流，均在60mA～100mA之间。铁心引下线的电流不大，暂时可以投入运行状态。经过分析判断，该变压器属于高阻接地，不需要立即进行大修，但需要加强铁心接地引下线电流和油色谱的监测，如果发现电流超过1A或出现乙炔、总烃增加较快等异常现象，应及时进行检查并采取有效措施，防止变压器发生故障。

　　P4主变发生铁心高阻多点接地故障并投入运行后，应加强铁心引下线电流的带电测量工作，按周期进行预防性试验。P4主变铁心绝缘及引下线测量数据.

　　1995年～1998年，P4主变铁心属于高阻多点接地故障，阻值为450kΩ，电流非常稳定，为60mA；1999年～2001年，P4主变铁心变为中阻多点接地故障，阻值为300Ω，电流基本稳定，在100mA～200mA之间；2002年10月预防性试验时发现P4主变铁心演变为低阻多点接地故障，阻值在27Ω左右，电流不稳定，在200mA～2600mA之间。铁心多点接地由高阻演变为低阻，接地电流也由稳定变为不稳定，说明该故障点不是死接地点。根据运行值班人员的巡视观察与统计情况，表明P4主变铁心接地故障电流的大小与天气和负载没有关系。

　　在进行铁心引下线电流带电测量的同时，也加强了油的色谱分析工作，主要分析数据如表2所示。从表2可以看出：总烃中乙烯占主要成分，也是变压器铁心存在多点接地故障的主要特征；1995年～1998年，P4主变油中不含乙炔，总烃也比较稳定，在46μL/L～65.3μL/L之间；1999年9月第一次发现乙炔，油中总烃变化较大，在48.7μL/L～153.9μL/L之间，说明铁心多点接地点的异物由接地牢固到开始松动，出现了电弧放电现象。

      在1999年9月油中发现乙炔的同时，铁心引下线带电测量的电流值也有增大趋势，变压器周期性试验也说明铁心绝缘电阻一直在降低，三者的试验结果是吻合的，说明P4主变铁心多点接地故障点由稳定接地状态变为不稳定松动状态，该变压器的不安全系数也在不断增加。根据以上试验结果，P4主变需要采取限流措施，以保证其安全运行。

　　3采取措施

　　随着P4主变铁心引下线电流越来越不稳定，工作人员加强了带电测量和色谱分析工作。2002年10月周期性试验发现铁心绝缘只有27Ω，连续两个月多次测量铁心引下线电流，部分测量数据已经超出1A，最大达到2.6A。2002年12月17日，用钳型电流表测量P4主变铁心引下线的电流为0.2A～2.6A，在P4主变铁心接地引下线回路加装了限流电阻，使主变铁心接地引下线电流限制在1A以下，如图1所示。



　　图1中，K1、K2为单向刀闸。正常情况下，只有P4变压器-K2-电阻-接地回路存在，K2闭合，用钳型电流表直接测量该接地回路电流的大小。针对P4变压器，在安装限流电阻前，用钳型电流表测量引下线的电流为0.2A～2.6A，加装20Ω的限流电阻后，其电流在30mA~80mA之间，说明20Ω的限流电阻是合适的。

　　一般情况下，110kV变压器的漏磁较小，用钳型电流表测量即可满足要求。如果变压器漏磁较大，用钳形电流表测量铁心引下线的电流误差较大，易引起误判断。对于220kV及以上变压器，个别老型号、早期的变压器漏磁可能很大（0～30A），用钳型电流表测量显然不能满足测量要求，一般要在铁心引下线中串接电流表直接测量，如图1虚线框所示，可以临时增加K1-电流表-接地测量回路，该回路接入牢靠后，将K1闭合，K2断开，直接读取电流表的指示数；测量完毕，先闭合K2，再断开K1，最后将测量回路拆除。这样测量可以消除漏磁的影响，避免误判断。

4故障查找

　　由于P4主变内部接地故障点不稳定，虽然采取了临时措施将铁心接地电流限制在1A以下，但是从变压器长远安全运行的角度出发，应对该主变进行大修，处理铁心多点接地问题。2003年3月21日，对P4主变进行吊罩大修，当变压器油全部放出后，用万用表测量铁心的电阻，其阻值为2Ω。当变压器外罩吊起时，铁心绝缘没有发生任何变化。这说明变压器外壳与上夹件、铁心之间没有接触故障。

　　吊罩后进行外观检查，该主变绕组连接紧密，绝缘无损伤，无放电痕迹，各部分的垫块无松动，也无变形迹象；上、下夹件的穿心螺钉无松动，各部件固定良好。经过试验，铁心对上夹件、上夹件对地绝缘均合格，证明故障不在变压器上部。因为变压器的上夹件与铁心在上部只有一点相连，而下夹件又直接接地，所以可以断定故障点应在变压器的下部，即铁心与下夹件之间、铁心与变压器底部之间可能有异物存在。

　　将检查重点放在了变压器的下部，通过对铁心和下夹件进行的检查发现，变压器箱体清洁且无异物。用绝缘油对铁心下部进行冲刷，经过多次油循环冲洗后，测量铁心的绝缘，阻值仍没有变化，说明异物不是易冲刷走的碎铁屑，而可能是一种较大的金属异物；用手电筒与平光镜相结合的方法进行查找，没有发现异常；用一根前端绕成圆环的细铁丝在铁心与下夹件之间的缝隙内仔细查找，因缝隙较窄，光线不足，肉眼未能发现异常。所以这些均说明故障点比较隐蔽，难以准确找到。

　　根据现场查找情况，决定采用电容器充放电法查找故障的具体方位。加压至70V时，铁心右下穿钉附近有放电声，并且在同一位置的铁心与下夹件间伴有白烟冒出，说明该处有放电现象。此时断开电源，测量铁心绝缘，发现绝缘已上升至10MΩ。这一现象证明异物就在右下穿钉附近。考虑到异物可能已被烧熔，用油进行冲洗清理。这样反复进行电容充放电-油冲洗-木锤敲击等循环，测量铁心绝缘电阻一直在0～50MΩ之间不断变化，这说明异物还是比较大，用电容充放电是不能解决问题的。

　　根据以上检查与分析判断，必须对变压器进行吊芯查找。随即对变压器进行铁心吊检，铁心吊起后看到铁心两绝缘垫块夹缝之间有一锯条，立即拆开一边的绝缘垫块后，发现一根长度为13cm的锯条夹在其间。取出锯条观察，发现锯条的右下角有明显的放电痕迹（见图2所示），放电点在锯条的根部右下端黑色部位，因放电右下角已经缺角。

　　图2放电痕迹

　　异物锯条取出后，变压器进行回装，测量铁心的绝缘电阻，大于1000MΩ，合格。说明锯条就是造成变压器铁心多点接地故障的原因。P4主变铁心多点接地故障处理后，安全运行至今。

　　5原因分析

　　1994年P4主变新安装，当时根据厂家要求没有进行吊罩检查，这说明锯条是在出厂以前就存在的，属于产品质量问题。根据以上情况可以推断，该变压器在投运初期，锯条夹在下夹件的绝缘垫块中间，没有与下铁心接触，因此常规试验不能发现问题。运行一段时间后（该主变低压侧曾遭受过短路冲击），在电动力、电磁力的作用下，导致锯条移位，刚好把铁心和下夹件短接，形成铁心多点接地，并且受油流和电磁力等影响不断滑动，致使接地电流时高时低。

　　6结论

　　综上可知，P4主变铁心多点接地故障比较特殊，是因为厂家制造时遗留异物造成的。在运行中对该台主变加强了铁心接地引下线电流的监视和油色谱分析工作，并及时采取了限流措施，确保了其安全可靠运行。

　　变压器铁心多点接地是一种较为常见的故障，在变压器运行过程中，一旦发现变压器出现多点接地故障，首先应停电测量铁心的绝缘电阻，并取油样进行色谱分析，然后采取以下几个步骤进行分析与处理。

　　（1）用电容器充放电法进行处理3次～5次（不宜太多次，否则易损伤变压器），如果故障消除，变压器可以投入正常运行。变压器运行一段时间后，应加强铁心引下线电流的带电测量和油色谱分析工作，电流在200mA以下、没有乙炔出现、总烃上升缓慢是安全的。

　　（2）如果电容器充放电法无法消除故障，要用万用表测量其阻值，判断是高、中阻接地，或是低阻接地。

　　（3）在故障没有处理之前，应加强变压器铁心引下线电流的测量工作，同时注意油中特征气体的变化，一旦油中出现乙炔，说明铁心绝缘有变化，应缩短监测周期，保证变压器安全运行。

　　（4）如果铁心电流在1A以下且非常稳定，一般不需要采取措施，也不需要立即停电处理。

　　（5）如果电流超过1A，应该采取限流措施，将电流限制在1A以下，最好是200mA以下。

　　（6）采取限流措施以后，应做好变压器大修的准备，安排适当的时间进行吊罩或吊芯处理。

　　（7）变压器吊罩大修时，若异物很容易找到，处理起来比较简单；若不易找到，可以用电容器充放电法进行异物定位，准确定位后再进行处理。