500 kV HGIS断路器CT线圈断线原因分析

介绍了一起专业巡检中发现500 kV HGIS断路器CT线圈断线故障，通过检查、试验及厂内解体分析，对CT线圈断线原因进行了分析，得出了造成500 kV HGIS断路器CT线圈断线的原因，并提供了有针对性的措施。

孙 琳[1] 孟延辉[2] 甄 利[3] 付炜平[2]/1.石家庄铁道大学四方学院 2.国网河北省电力公司检修分公司 3.国网河北省电力公司

孙 琳/讲师

关键词/Keywords
CT线圈·
母线差动保护·
解体检查·

2012年8月3日9时，在某500 kV变电站进行专业巡视时，发现500 kV1#母线RCS－915E型母线差动保护的5031断路器（HGIS型式）B、C相电流为0.03 A，A相电流为0，A相差流为0.03 A，检查5031断路器保护CSC－121A中电流，其A相电流为0.03 A。

图1为5031断路器CT示意图。该断路器CT为内置式，采用环氧树脂浇注，电流比为4 000/1 A，查阅监控机，5031断路器一次电流为123 A，5032断路器一次电流为130 A，主变压器负荷为230 MW。RCS－915E型母线差动保护的定值中，TA异常报警定值为0.06 A，TA断线电流为0.1 A，当主变压器负荷为230 MW左右时，母线差动保护达不到报警定值。经查阅，2010年10月14日～2012年8月3日，没有母线差动保护的异常报告记录。2012年6月19日11时30分，5031断路器一次电流值为192.3 A，为历史最大值，折合成二次电流为0.048 A，也未达到母线差动保护告警值。5031断路器A相2#主变压器侧CT线圈参数如表1所示，出现异常的编号为CT14的线圈。

表1 5031断路器A相2#主变压器侧CT线圈参数

编号	电流比/A	准确级	容量/V·A
CT14	2 500－4 000/1	TPY	15
CT15	2 500－4 000/1	TPY	15
CT16	1 250－2 500－4 000/1	0.2	10/10/15
CT17	1 250－2 500－4 000/1	0.2 S	10/10/15

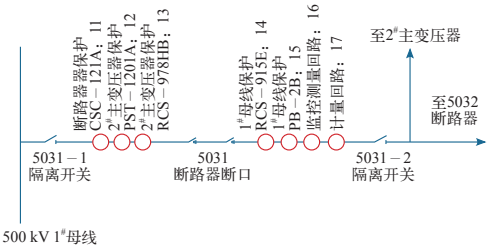

图1 5031断路器CT示意图

现场检查试验情况

对汇控柜、至保护屏的二次接线及回路正确性进行了检查，未发现异常。5031断路器转检修后，测试CT14线圈本体二次接线盒内$4S_1$～$4S_3$和$4S_1$～$4S_2$之间直流电阻为无穷大，$4S_2$～$4S_3$之间直流电阻为7.1 Ω，如表2所示，其他线圈$4S_1$～$4S_3$之间直流电阻正常，说明$4S_1$接线端子处存在开路，外部端子检查无异常，判断应为CT14线圈内部二次接线开路。另外，从$4S_2$～$4S_3$之间量测到开路电压约为550 V，如图2所示。

表2 直流电阻测量（试验仪器：CT参数测试仪）

A相二次绕组	直流电阻值/Ω
$2S_1$～$2S_2$	10.001
$2S_1$～$2S_3$	15.010
$3S_1$～$3S_2$	9.912
$3S_1$～$3S_3$	14.960
$4S_1$～$4S_2$	—
$4S_2$～$4S_3$	7.1
$4S_1$～$4S_3$	—
$5S_1$～$5S_2$	9.872
$5S_1$～$5S_3$	15.023

查看交接试验报告，结果正常，

中国知网 https://www.cnki.net

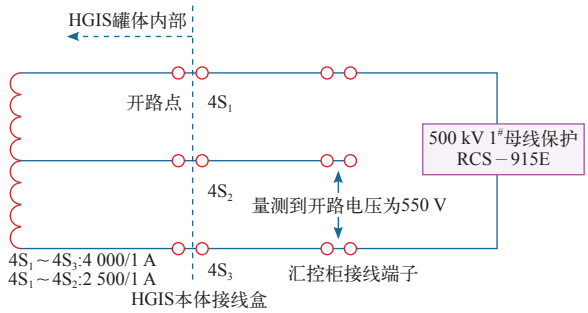

图2　RCS－915E母线差动用CT圈示意图

排除了投运以来该CT线圈持续开路的情况。

对5031断路器A相SF_6气体微水及组分进行测试，结果如表3所示，未见异常。

表3　5031断路器A相SF_6气体

测试项目	微水（≤300 PPMS）	分解物/（μL/L）			
		SO_2	H_2S	HF	CO
结果	90	0	0	0	0

现场解体检查

2012年9月2日，对5031断路器A相2#主变压器侧CT现场解体，检查内部二次接线无脱落，编号为CT14的CT线圈本体浇注层存在开裂现象，如图3所示。在CT本体处测量，线圈直流电阻为无穷大，确认CT14线圈损坏。2012年9月3日，将5031间隔A相拆除，返厂检修。

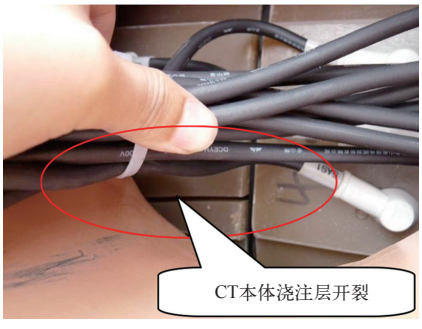

图3　CT线圈本体浇注层开裂实物图

厂内解体检查

1. CT14线圈结构

该CT线圈由铁心、铜绕线层、聚酯薄膜层、缓冲层和环氧树脂浇注层组成，如图4所示。其中，铜绕线通常由4～5层组成，每一层用聚酯薄膜层隔开。在浇注和固化过程中，重点是真空度和温度的控制。真空度要求为3 000 Pa，真空度不足容易在浇注时进气泡；温度应严格满足固化时的温度要求，温度过高，固化后的材料比较脆，温度过低，不容易固化。

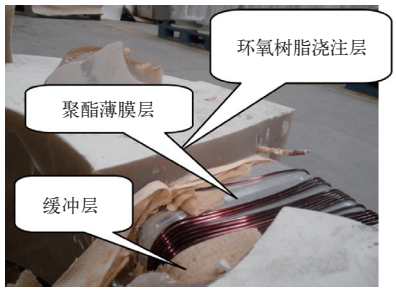

图4　CT各组成部分

2. CT14线圈检查

CT14线圈裂缝呈贯穿性，如图5所示。CT线圈内、外表面无磕碰受力痕迹；断裂部分表面无明显瑕疵和气泡，排除了外力碰撞及浇注缺陷导致CT线圈开裂的可能。

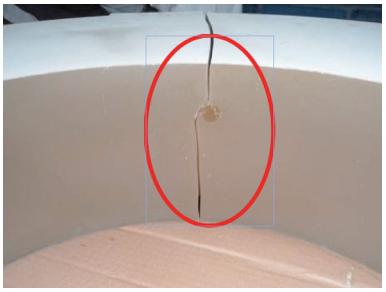

图5　贯穿性裂纹

检查破开的浇注层，发现线圈的$4S_1$抽头二次接线在开裂处断线，断线位置的环氧树脂浇注层有烧蚀痕迹，应为CT开路后断线过程中产生的放电烧蚀所致。测试断线与$4S_2$、$4S_3$二次接头，均为导通状态，确认该处的断线即为造成CT14线圈开路的直接原因。

对开裂部位的环氧树脂浇注层分别进行密度、吸虹和热变形温度试验，结果如表4所示，未见异常。

表4　环氧树脂浇注层相关试验

测试项目	测试值	要求值
密度/（g/cm^3）	2.066	1.8～2.2
吸虹试验	致密	致密
热变形温度/℃	68	60～70

中国知网　https://www.cnki.net

3. 垫块的检测

在CT线圈制作过程中会用到垫块，每一个线圈通常使用4个，垫块的作用是固定线圈，确保线圈与模具之间保持间隙均匀、同心。垫块的材质与浇注层相同，也为环氧树脂材料。

对CT14线圈裂缝处的垫块进行热变形温度试验，试验温度为60 ℃，试验结果符合表4要求，排除了因垫块与线圈浇注层温度收缩系数差别过大，不能紧密结合的情况。另外，用铁锤重击CT14线圈其余3个垫块所在位置，其裂纹为发散状，不能形成贯穿性的裂纹，证明CT线圈浇注层出现贯穿性的开裂不是由垫块引起的。

4. 其余6只CT线圈检查

本次返厂的HGIS设备，共有7只CT，检查剩余的6只CT线圈，外观未发现有裂纹、外力撞击等痕迹，对其进行直流电阻、电流比和伏安特性等试验，均符合要求。

原因分析

1. 制造过程中工艺控制不好，线圈内应力较大

根据制造厂“真空浇注工艺流程”，线圈制作过程中温度应保持稳定，时长应满足工艺要求。检查损坏的CT14（编号4194）线圈制造记录，发现其后固化过程的温度曲线曾有短时的降低，时间约为5 min，温度从110 ℃降至105 ℃，怀疑该炉在线圈后固化过程中曾出现过短时的停电。该次停电虽很快恢复，但仍然在CT线圈内部产生了较大的应力。CT14的断裂面为贯穿性，且断裂面比较平整，这是明显存在内部应力的特征。从上述环氧树脂浇注层的相关试验结果分析，该内部应力还未达到短时造成浇注层开裂的程度。

2. 线圈受到外部作用力影响

开裂的CT14线圈在HGIS内部的装配位置处于各CT的最外侧，外部还需安装有屏蔽罩。检查发现，该屏蔽罩的固定螺栓正好处于浇注层的开裂附近（同类型的屏蔽罩均在该位置处固定）。运输及传动过程中，在线圈的内应力较大的情况下，螺栓的紧固作用力会对浇注层的破坏起到推波助澜的作用。图6为HGIS CT线圈装配图。

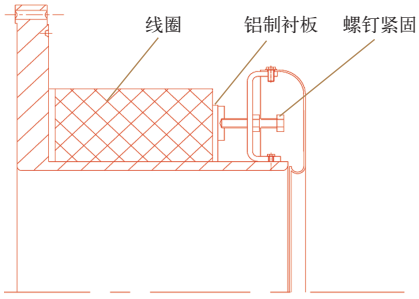

图6 HGIS CT线圈装配图

综上所述，该CT14线圈浇注层开裂由多方面原因造成。首先是开裂的CT14线圈在后固化过程中温度控制不好，造成环氧树脂浇注层的内应力大；其次是装配用屏蔽罩的固定螺栓正好处于浇注层的开裂附近，运输及传动过程中，在线圈内应力较大的情况下，螺栓的紧固作用力会对浇注层的破坏起到推波助澜的作用；最终设备在运行过程中，在内部应力的不断作用下，造成线圈浇注层开裂。

结束语

1）专业巡检作为检修试验的一种补充手段，对设备的稳定运行起到了重要作为，各公司应重视专业巡检工作。

2）作为巡检项目，专业人员应重视母线差动保护三相电流之间的微小差异，不能因为保护装置正常就忽略异常数据。

3）各制造厂家，应注意做好过程工艺控制，同时做好厂内制造记录及工艺标准的检查。

（收稿日期：2014－03－10）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

中国知网 https://www.cnki.net