

[有载分接开关]

一起有载分接开关滑档引起的换流变内部放电事件分析

文/ 南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局 雷雄飞

以国内某换流站一台换流变有载分接开关滑档故障为分析对象，从油色谱气体量变化与器身内部放电对故障形成原因及变化过程进行分析，极性选择开关切换不成功是导致此次故障的根本原因，并对换流变的后期运行维护提出指导意见。

放电过程的发生

2019年2月27日~3月2日，国内某换流站一台换流变压器（以下称故障换流变）C相分接开关在

调档过程中发生多次滑档，滑档后换流变绝缘油在线色谱数据显示乙炔存在显著增长，乙炔含量最高达 12.682×10^{-6} ，详见表1。

表1 故障换流变分接开关滑档情况及色谱数据统计

时间	正常相调档	C相滑档过程及（停止位置）	不在档时间/min	是否极性转换期间	对应在线色谱数据
2月27日11时46分	7→6C→6B	7→6A→6→（6B→5）	52	否	
2月28日02时01分	5→6	5→6B→6→（6A→7）	24	否	28日07时35分 （采样时刻约6:40） 乙炔和氢气增长
2月28日08时27分	4→5	4→5→6A→（6→6A）	7	是	28日09时45分 （采样时刻约33分）
3月1日00时00分	4→5	4→5→6A→（6→6A）	11	是	1日07时33分 （采样时刻约6:40）
3月2日02时20分	6→6A→7	6→6A→7→（8→9）	13	否	2日07时33分 （采样时刻约6:40）
3月至今	多次调节	未发生滑档	—	—	

放电原因分析查找及处置情况

1. 故障换流变分接开关滑档情况及油色谱数据统计

分析故障换流变C相在线油色谱数据发现，28日故障换流变C相氢气和乙炔含量突然明显增长，其中07时32分数据（实际采样时刻约为6:40），氢气含量 14.63×10^{-6} ，乙炔数据为 1.19×10^{-6} ；9时45分（采样时间约为8:50），氢气含量突然增长至 31.84×10^{-6} ，乙炔含量突然增长至 6.52×10^{-6} ；2月28日至3月6日后续几天在线监测装置显示乙炔保持在 6×10^{-6} 左右。经与在线监测装置厂

家宁波理工核实，该色谱装置单次分析循环时间约90min，装置工作过程为加热及油循环（30min）+采油+脱气分析（60min）后上传数据，故后台显示数据实为约1h前在线装置采样数据，故障换流变C相在线油色谱数据见表2。

表2 故障换流变在线监测色谱装置数据

后台数据时间	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	总烃
2.27: 07:33	14.63	8.13	1.19	1.71	1.62	193.36	534.87	12.60
2.28: 07:32	14.63	8.66	1.19	2.55	0	190.09	545.85	12.40
3.01: 07:33	29.06	8.97	6.16	2.74	1.76	193.06	540.83	19.63
3.03: 07:33	28.66	8.97	5.94	2.71	1.69	190.14	534.62	19.31
3.06: 07:33	31.12	11.02	6.35	2.99	1.96	233.46	605.74	22.32

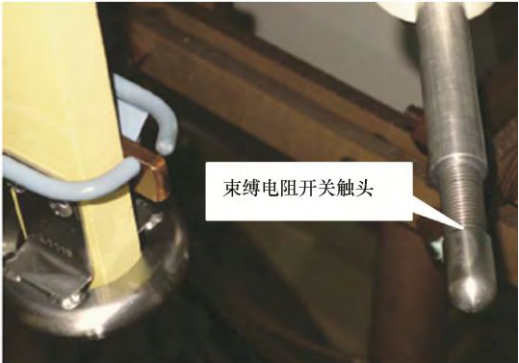
3月2日,离线色谱显示乙炔含量达 12.682×10^{-6} (1月8日为 1.603×10^{-6}),其他特征气体未超过注意值;3月3日,离线色谱显示氢气含量突然由 27.109×10^{-6} 增长至 239.48×10^{-6} ,乙炔含量保持在 12.354×10^{-6} ;3月4日至4月1日(分接开关未滑档),氢气含量降至 35×10^{-6} 以下,乙炔含量保持在 12×10^{-6} 以下。

2. 故障换流变分接开关内部检查

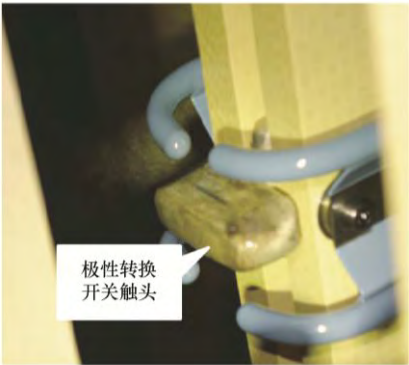
4月5日,对故障换流变分接开关极性转换开关、束缚电阻投入刀开关和束缚电阻等情况进行了内检,发现极性转换开关触头、束缚电阻开关触头表面有电弧放电痕迹,触头存在轻微程度的烧蚀情况,检查内容、结果及处理措施见表3,束缚电阻开关与极性转换开关触头表面放电痕迹如图1所示。

表3 故障换流变C相内检情况

内检内容	检查结果及处理措施
束缚电阻外观检查及电阻值测试	束缚电阻外观无异常破损,1#开关束缚电阻值测量值为207 kΩ; 2#开关束缚电阻值测量值为206 kΩ, 额定电阻值210 kΩ
束缚电阻开关检查	开关触头表面有轻微放电炭黑痕迹,但未见明显强电流通过痕迹
分接开关选择器触头检查	分接开关选择器触头未见异常现象
极性转换开关触头检查	极性转换开关触头表面有明显放电痕迹,未造成触头表面出现严重电弧损伤,判断不会影响转换使用
束缚电阻开关与极性转换开关切换时序检查	束缚电阻开关在极性开关前动作,符合技术要求



(a)



(b)

图1 开关触头表面放电痕迹

4月15日,完成了故障换流变C相常规试验及局放试验,试验数据合格。4月17日,故障换流变C相投入运行,设备投运后,现场按1次/2天的周期开展离线色谱分析,截至4月25日,故障换流变C相乙炔含量从投运前的 0.222×10^{-6} 缓慢增长至 0.862×10^{-6} ,初步分析乙炔缓慢增长原因为换流变器身中原来残留的乙炔在变压器绕组运行发热后缓慢释放并溶解在变压器油中,待运行一段时间后乙炔含量将恢复稳定。

故障换流变本体乙炔产生原因分析

1) 该换流变调压档位较多(11档),调压绕组布置在最外层,调压绕组与网侧绕组之间存在耦合电容 C_1 ,调压绕组与换流变外壳及箱底磁屏蔽板之间存在耦合电容 C_2 。正常运行中,当换流变分接开关分接选择器在通过中间档位时(即6A、6B、6C档),需进行极性转换。极性选择开关K由“+”(或“-”)切至“-”(或“+”)过程中,调压绕组将“短暂悬浮”并产生较高的容性电压,为了限制这个电压,在调压绕组中间抽头与绕组末端N(N接地)之间接入一个阻值为210 kΩ的束缚电阻,该束缚电阻通过一个开关接入,在切换开关动作前投入,切换开关动作后退出。接入束缚电阻后,当极性选择开关动作时,调压绕组中仍然会产生一定的容性电压,只是这个电压被束缚电阻钳制在一个可接受的范围,在此称为“偏移电压”,如图2所示。

2) 在极性转换过程中,即由6B至6A或6B至6C档调节过程中,极性选择开关K由“+”切至“-”或由“-”切至“+”过程中,由于“偏移电压”存在,极性选择开关切换动作时仍然会引起触头间火花放电,极性

档位切换过程如图3所示。

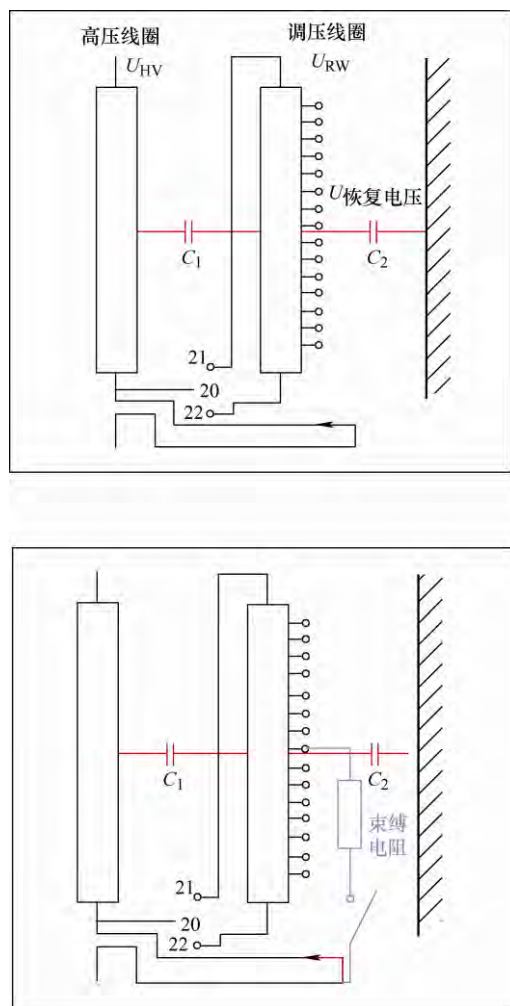


图2 有载分接开关在极性开关动作时的电压分布原理图

3) 根据该型号分接开关工作原理分析, 换流变运行中无法避免发生过极性选择开关切换, 极性选择开关切换动作时会引起触头间火花放电, 但由于能量很低, 仅产生少量的乙炔气体。正常情况下, 因过极性转换过程时间较短, 且过极性切换次数相对较少, 极性选择开关触头放电累积时间较短, 故产生的乙炔含量相对较少, 但会逐步累积增长, 这个分析与该换流变投运以来的油色谱特征气体分析结果相吻合。

4) 2019年2月27日至3月2日, 该换流变有载分接开关两次滑档且保护动作后分接开关停止在过极性转换选择器切换中间位置(极性转换中间档位为升档6B→6C间或降档6B→6A间), 时长分别为7 min和11 min, 远远超过正常时的切换时间(55 ms左右), 致使极性选择开关触头在换流变本体油中发生持续电弧放电, 从而导致该换流变

油劣化, 产生大量乙炔和氢气。因此, 该换流站故障换流变C相乙炔突然增大的原因是: 2月28日08:27和3月1日00:00两次调压时, 极性选择开关触头尚未完成切换, 分接开关停车于触头刚分离或即将接触位置时, 调压绕组上长时间保持“偏移电压”, 致使极性选择开关触头在换流变本体油中发生持续电弧放电导致的。

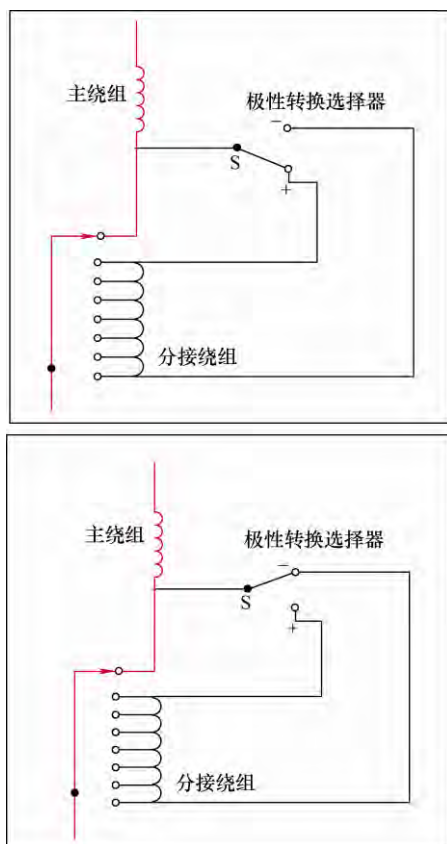


图3 极性档位切换过程

结束语

分接开关发生滑档且停车在过极性转换位置时, 调压绕组将长时间保持“偏移电压”, 致使极性选择开关触头在换流变本体油中发生持续电弧放电, 产生乙炔, 严重时甚至烧损极性选择开关触头, 长时放电电流通过束缚电阻还将引起束缚电阻发热, 可能造成进一步的危害, 因此运行中应采取措施避免分接开关发生滑档, 尤其须避免滑档后分接开关停车在极性转换位置。同时, 运维人员应制定现场应急处置方案, 一旦发现换流变分接开关滑档, 应立即进行人为干预, 避免换流变分接开关长时间停车在极性转换位置。EA

(收稿日期: 2020.08.16)