

[变压器]

一起220 kV主变压器有载分接开关重瓦斯跳闸故障诊断与分析

文/辛惠
廊坊供电公司

变压器有载分接开关可以在主变压器不停电的情况下，对系统母线电压进行调整，其重瓦斯在开关室内产生大量油流时会跳闸，防止开关室发生爆炸。详细介绍了一起220 kV主变压器有载调压开关重瓦斯跳闸故障的诊断与分析过程，最后给出了整改措施。

为了维持系统电压稳定性，110 kV及以上变压器均安装有载分接开关，能够在变压器不停电的情况下调整系统电压。有载分接开关安装有重瓦斯和轻瓦斯两种保护装置，通常轻瓦斯主要反映开关室内有少量气体或者油位降低时发出报警信号，而重瓦斯主要反映开关室内由于放电等原因产生大量油流而跳闸。以一起220 kV主变压器有载分接开关重瓦斯跳闸为例，详细介绍了该故障的诊断与分析过程，为以后同类型故障的诊断分析提供参考。

故障概况

某220 kV变电站3[#]主变压器于2015年6月6日对变压器进行了例行试验，并对有载分接开关进行吊检，更换合格油。6月7日送电后至9月4日期间未进行调压动作，滤油机处于停运状态。

2015年9月4日14时至16时23分26秒421毫秒时间段有5次调压动作，在完成第五次分接头（7降至6）转换后，16时23分27秒621毫秒变电站发生3[#]主变压器调压重瓦斯动作跳闸，造成3[#]主变压器停运。检修班组到达现场检查保护装置（WBH-802A型装置许继生产）显示调压重瓦斯动作，动作时间20 ms。无其他保护动作，调压重瓦斯动作跳开变压器三侧受总开关。通过查看后台监控发现本次故障是在主变压器调压结束1.2 s后3[#]主变压器调压重

瓦斯动作、事故总动作。

有载分接开关参数：型号为MDIII1000A/126D-10193W；编号为15091001；额定工作电流为629.8 A；级电压为1 588 V；过渡电阻（为四电阻过渡，分 R_1 、 R_2 ） $R_1=1\ \Omega$ 、 $R_2=2.46\ \Omega$ ；调压方式为正反调；安装方式为钟罩式。

故障诊断与分析

通过现场对保护装置、变压器各项电气及仪表指示除3[#]主变压器调压重瓦斯动作告警信息外，各类数据均正常。通过综合分析判断导致变压器有载分接开关重瓦斯动作跳闸的可能性有三点：

- 1) 瓦斯继电器内部进水受潮，导致跳闸、信号接点短路，造成保护装置误动作。
- 2) 瓦斯继电器校验存在缺陷或是整定流速值偏低造成保护装置误动作。
- 3) 有载分接开关内部存在缺陷，在分接头切换过程中发生故障，在高电压和电流作用下，引起较大涌流，导致重瓦斯动作。

1. 瓦斯本体误动作分析

检查瓦斯继电器和所有保护装置，发现无调压轻瓦斯动作信号或是较多集气，如图1所示。瓦斯继电器内部接线柱无受潮短接打火放电痕迹。对该

瓦斯继电器（QJ4-25沈阳四兴，2009年09月生产）进行校验，均符合要求，整定流速为0.99 m/s。

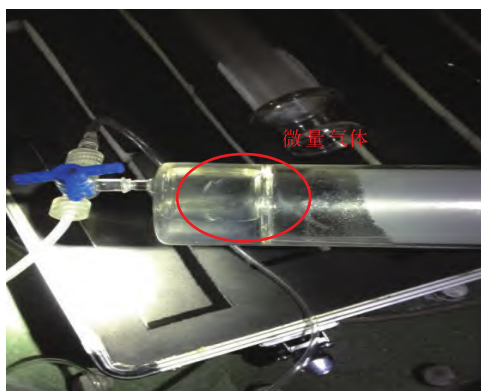


图1 对瓦斯继电器进行取油、气样分析

怀疑是否接入非电量的二次电缆受潮或是破损直接接地造成短路，使主变压器调压重瓦斯动作，检查发现现场没有直流接地的信号，监控后台无直流接地信号，直流接地选线装置无直流接地现象。又对3#主变压器非电量信号进行了实际传动，后台监控和非电量保护装置均能正确收到调压重瓦斯动作信号、调压轻瓦斯信号。对信号所接电缆进行了绝缘测试，符合绝缘要求，均大于20 MΩ。对调压瓦斯继电器触头两端进行绝缘试验，结果也符合要求，排除瓦斯继电器进水导致触头导通的可能。通过观察有载分接开关配合使用的呼吸器油杯内油位过低，初步判断由于有载分接开关内部油流涌动造成内部气体膨胀推动呼吸器油杯内油溢出，更加确定瓦斯继电器重瓦斯动作的可能性，并非二次回路误动作。

主变压器的内部故障由非电量保护进行反应，差动保护对主变压器内部故障反应与非电量保护相比要慢，所以差动保护没有动作是正确的。通过对非电量保护装置和非电量二次回路的检查，发现二次回路电缆绝缘良好和保护装置内部动作正确可靠。确定造成此次主变压器跳闸动作原因为调压开关内部故障或调压瓦斯继电器误动作。

2. 开关内部故障分析

在排除二次回路造成误动作后，对调压开关内部切换芯子进行吊检，发现内部油质较差，游离碳较多。主要聚集在瓦斯继电器内、切换芯子顶部及绝缘筒底部三个部位，如图2～图4所示，绝缘筒壁较为干净，无积碳和其他残留物质。



图2 切换芯子表面聚集大量游离碳



图3 瓦斯继电器内部聚集大量游离碳



图4 绝缘筒底部放完油后聚集大量游离碳，壁表面干净

随后对切换开关进一步解体，发现芯子C相过渡触头烧蚀较为严重，如图5所示，四组过渡电阻完好，阻值符合厂家规定值。

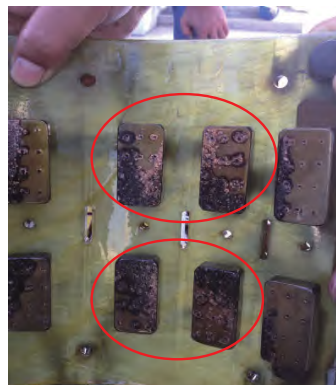


图5 触头烧毁图

通过上述两点现象结合试验数据分析得出,有载分接开关在切换时,主通断触头和过渡触头按一定的预设动作程序开断电流,开断电流时有电弧产生,该电弧的能量导致变压器油分解,从而产生碳粒。因此油灭弧开关在每一次带负载切换时产生碳粒属正常现象。那为什么本开关比M型开关产生的碳粒要多呢?通过与M型开关的几点区别进行比较和特殊情况下的切换任务进行分析。

1) MD (ZMG) 型号开关开断容量、开断电流均比M型开关大。本型号开关三相最大开断容量为2 500 kV·A,最大额定通过电流为1 000 A;M型开关三相最大开断容量为1 500 kV·A,最大额定通过电流为600 A。

MD (ZMG) 型号开关的开断电流非常大,根据GB 10230.1—2007术语定义,开断电流是指分接变换时,在切换开关或选择开关每个主通断触头组、过渡触头组或调换触头上所预计开断的电流。即开断电流 I_k =负载电流 $I_N \pm$ 环流 I (环流 I =级电压/过渡电阻 R)。

若以最大开断电流进行计算,根据变压器及开关参数,开断电流约为1 100 A,切换容量约为1 750 kV·A,比M型开关的最大开断容量还大。变压器油分解的多少,取决于电弧能量的大小,而电弧能量又由开断容量大小确定,开断容量越大,产生的电弧能量越大,电弧能量越大,其分解的变压器油越多,产生碳粒越多。因此大容量、大电流的开关在切换时所产生的碳粒必然比M型开关(小容量、小电流)的多。

2) 触头结构的区别。①本型号开关参与开断电

流的过渡触头比M型开关多。本开关每一相的过渡触头有6组,M型开关每一相的过渡触头是4组。每切换一次,本开关所产生的电弧都比M型开关多,而每一次电弧都会分解变压器油,产生碳粒;②每一个过渡触头开断面积均比M型开关大,本型号开关过渡触头面积为1 250 mm²、M型开关过渡触头面积为900 mm²,因此在开断电流时每一次电弧烧损的面积比M型大,产生的碳粒也比M型开关多。从触头数量及结构分析,本型号开关必然比M型切换时产生的碳粒多。

3) 开关在每一次切换时,由于机械结构运动,推动变压器油,生成油流涌动。本型号开关过渡触头数量比M型开关多,过渡触头面积比M型开关大,在相同切换时间下生成的油流涌动比M型开关大。即在某一次切换中,开断电流时,C相电流的相位角正好在90°左右时,会造成C相开断电流熄弧困难,从而造成C相过渡触头烧损较A、B相严重的情况产生,同时开断能量急剧增加,产生油流涌动过快,油流涌动推动气体继电器重瓦斯挡板,引起跳闸。

4) 气体继电器的选择。油流控制继电器管道内油的流速与触头所切换电流大小直接相关。不同电流规格的分接开关,油流控制继电器管道内油的流速不同。因此,应选用不同的整定油流速度的油流控制继电器与之相匹配。现以MⅢ600 A型双电阻过渡旗循环法的三相分接开关和MDⅢ1 000 A型四电阻过渡旗循环法的三相分接开关为例,其分接开关切换电流在正常满载状态下或在过载状态下切换时,油流控制继电器管道内油流速计算值见表1、表2。

表1 MⅢ600 A分接开关在负载状态下切换参数计算

序	计算项目	三相电弧触头同步开断		三相电弧触头不同步开断		
		主通断触头 K_1	过渡触头 K_2	主通断触头 K_1	过渡触头 K_{21} (先)	过渡触头 K_{22} (后)
1	开断电流/A	600	822	600	670	893
2	电弧能量W/kJ	0.478	0.655	0.478	0.534	0.711
		每个切换单元 $\Sigma W=1.133$, 三个切换单元 $\Sigma W=3.4$		切换不同步单元 $\Sigma W=1.723$,三个单元(扇形块) $\Sigma W=5.17$		
3	油体积流速 $F/(L/s)$	0.102		0.155		
4	切换产生气体/mL	10.2		15.5		
5	继电器油流/(m/s)	0.208 ($I=I_n$)		0.315 ($I=I_n$)		
6	过载切换下继电器油流 速度/(m/s)	0.312 ($I=1.5I_n$)		0.473 ($I=1.5I_n$)		
		0.416 ($I=2I_n$)		0.63 ($I=2I_n$)		

注:表1是在 $R=nU_s/I$ 、 $n=0.577$ 和 $\cos\phi=1$ 时计算的数据。

表2 MDIII1 000 A分接开关在负载状态下切换参数计算

序	计算项目	三相电弧触头同步开断			三相并联（单相）电弧触头不同步开断		
		主通断触头K ₁	过渡触头K ₂	过渡触头K ₃	主通断触头K ₁	过渡触头K ₂	过渡触头K ₃
1	开断电流/A	1 000	1 000	733	3 000	3 133	2 725.5
2	电弧能量W/kJ	0.796	0.796	0.584	2.388	2.479	2.170
3	油体积流速F/（L/s）	0.195			0.21		
4	切换产生气体/mL	19.5			21		
5	继电器油流/（m/s）	0.398（I=I _n ）			0.43（I=I _n ）		
6	过载切换下继电器油流速度/（m/s）	0.597（I=1.5I _n ）			0.645（I=1.5I _n ）		
		0.796（I=2 I _n ）			0.86（I=2 I _n ）		

注：表2是在U_s=2 500 V、I_n=1 000 A、R₁=0.5 U_s/I_n=1.25 Ω、R₂=1.5R₁=1.875 Ω和cosφ=1时计算的数据。

3. 瓦斯流速整定分析

从表1可以看出，对于MIII600 A型分接开关的切换开关切换电流在2倍负载电流时切换（开断容量试验），油室的油流控制继电器管道内产生最大油流达到0.63 m/s，考虑一定的安全裕度后，选用整定油流速度（1.0±10%）m/s的气体继电器比较合适。

从表2可以看出，对于MDIII1 000 A型分接开关的切换开关切换电流在2倍负载电流时切换（开断容量试验），油室的油流控制继电器管道内产生最大油流达到0.86 m/s，考虑一定的安全裕度后，选用整定油流速度（1±10%）m/s的气体继电器比较勉强，应该选用整定油流速度（1.2±10%）m/s的气体继电器比较合适。

综上所述，本型号开关在切换过程中产生的油流涌动比M型开关要大，由设备厂提供的本型号开关选择的气体继电器与M型开关一样，其油速整定为1 m/s（现长征开关MDIII1 000 A型号开关已更改为ZMGIII1 000 A，并要求瓦斯继电器流速整定值为1.2 m/s，但未及时向用户告知），这一数值适用于M型开关。对于MD(ZMG)型号开关，在切换过程中会因为油流涌动过大造成气体继电器重瓦斯跳闸。瓦斯继电器流速整定值过小是变压器事故跳闸的主要原因。

结束语

整改措施如下：

1) 针对大容量、大电流有载分接开关配备的瓦斯继电器流速整定值过小问题，认真结合台账进行排查，并及时进行整改。目前有4台大容量、大电

流变压器在运行。且调压瓦斯流速整定为1.0 m/s。

2) 联系相关有载分接开关厂家在适当的时候派员工到公司进行变压器有载开关技术交流，对变压器有载开关的运行检修维护工作进行持续的技术支持。

3) 对变电站内2[#]主变压器有载分接开关进行了检修试验，对其瓦斯继电器进行了校验。

4) 结合各厂家相关技术标准，联系我公司实际情况制定了有载分接开关和瓦斯继电器运维维护检修策略。EA

（收稿日期：2022-07-15）

参考文献

[1] 赵家礼，张庆达．变压器故障诊断与修理[M]．北京：机械工业出版社，2000．
[2] 谢鹏，张国栋，彭刚．一起500 kV电力变压器故障诊断及处理[J]．变压器，2007，44(5)：51-52．
[3] 刘东华，王光临．一起变压器出口短路故障的分析与处理[J]．变压器，2007，44(4)：56-57．
[4] 陈静．基于声音信号分析的牵引变压器故障诊断方法研究[J]．电气应用，2020，39(2)：25-29．
[5] 安源，张智恒．基于PNN的电力变压器故障诊断[J]．电气应用，2020，39(11)：12-17．
[6] 师一卿，刘伟，韩彦华，等．脉冲响应法在变压器绕组变形检测中的应用[J]．电气应用，2020，39(2)：30-35．
[7] 鲍鹏飞，李晓明，范文魁，等．干式变压器新型有载分接开关[J]．电气应用，2020，39(1)：82-87．