

较高乙炔含量的变压器磁路过热故障诊断处理

介绍一起极为特殊、少见的产生故障特征气体与实际故障部位不相符的变压器故障案例。利用气相色谱分析变压器油中气体含量,可发现变压器的潜伏性故障,并诊断出故障性质为过热故障或放电故障。根据故障气体特征、含量比例以及乙炔含量的高低估计磁路或电导回路过热故障,可简化复杂的检查过程。磁路过热故障产生很高乙炔含量的情况较为少见。运用色谱分析法,结合电气试验、空载损耗与空载电流的变化,对一起运行中主变压器铁心局部强大涡流发热故障作出分析诊断,原因是硅钢片绝缘层绝缘性能下降,片间绝缘结构局部破坏,造成一簇硅钢片局部短路,引起较大涡流,环流增大,导致局部过热,单片过电流发热。还对磁路过热故障产生很高含量乙炔的原因提出疑问,并寻找答案。

吴 冷 毛宏智 郭跃东/南阳供电公司



吴 冷/工程师

关键词/Keywords

色谱分析·
磁路过热·
特征气体·
电气试验·
故障诊断·

近年来工作中发现并处理多台变压器过热故障的情况,无论变压器额定容量大小,一经变压器油中溶解气体,分析查出多是高于700℃的高温过热故障,故障部位位于磁路多于电路。某110 kV主变压器2009年投入运行,定期电气试验正常,油质试验及色谱分析试验数据均符合导则标准,未有异常情况。2014年4月1日,色谱分析试验发现总烃、乙炔和氢气均超标,分别达到4 373 $\mu\text{L/L}$ 、220 $\mu\text{L/L}$ 和332 $\mu\text{L/L}$,根据产气特征及三比值进行追踪分析,呈现高温过热故障的特征。然后进行全面的电气试验,怀疑属磁路过热故障。受现场条件限制,变压器返厂检查处理。变压器吊芯检查,外罩、引线和绕组可见部分未查到异常。拆开对吊出绕组进行铁心检查,发现硅钢片多片存在局部多点过热痕迹,其中铁心上部一大片面积严重灼

热、烧黑。

过热故障的危害与部位估计

1. 变压器过热故障危害

在变压器的故障中,过热故障占有很大的比重,且故障不明显、不直观,因此,及时监测和发现变压器过热性故障,准确分析故障的性质和部位,迅速处理和排除变压器的过热故障,对生产和运行尤为重要。

所谓过热是指局部过热,它和变压器正常运行下的发热有所区别,当正常运行时,温度的热源来自绕组和铁心,即所谓铜损和铁损。过热故障是由变压器内部故障引起的,局部温度超过了变压器的正常运行温度,并使绝缘材料分解出气体。变压器的过热故障及其变化情况,可以用色谱分析来跟踪监测。变压器过热故障的危害虽不如放电故障那么严重,但发展的后果也不可轻视。热点温度常会从低温发展为高温,甚至迅速发展成电弧而造成设备损坏,一些裸金属热点也常发生烧坏铁心螺栓等部件的情况,严重时同样会造成设备损坏^[1]。

2. 过热部位估计

过热故障可出现在磁路或电路中,引起磁路(主磁路和辅助磁路)故障的原因有:铁心两点或多点接地造成循环电流发热;油箱及下轭铁等处有铁磁杂物;铁心用部分硅钢片短路造成涡流发热(如连片短接);硅钢片间绝缘结构损坏或老化;漏磁引起的局部发热等。引起电路过热故障的原因有:绝缘导体

因超负荷过电流发热；部分绕组短路或不同电压比并列运行引起的循环电流发热；绝缘膨胀，注油堵塞而引起的散热不良；导电部分连接不良等。

变压器油中气体分析技术最大不足之处就是不能准确判断故障部位。一般可根据电导回路和磁路产气特征的某些差异来推断故障点是在电导回路还是磁路。如当故障在电导回路时，往往有乙炔且含量较高， C_2H_4/C_2H_6 比值也较高，并且 C_2H_4 产气速率高于 CH_4 的产气速率。对于磁路故障，一般无乙炔或者很轻微，只占总烃的2%以下， C_2H_4/C_2H_6 比值也在6以下^[2]。

故障的发现及状况诊断

2014年4月1日，例行试验发现色谱总烃、乙炔和氢气均超标，分别达到4 373 $\mu\text{L/L}$ 、220 $\mu\text{L/L}$ 和332 $\mu\text{L/L}$ ，取样复查后，试验数据一致，然后进行追踪分析，并考察其产气速率。从表1所示的色谱分析数据可看出，主变压器特征气体含量远超过注意值，且持续增长较快。对其进行相关的色谱分析如下。

表1 运行主变压器色谱分析数据 (单位： $\mu\text{L/L}$)

取样时间	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	H_2	CO	CO_2	总烃	备注
2013年10月15日	50	47.5	12.6	0.7	32.7	725.2	2 029	110.6	下部
2014年4月1日	1 105	2 918	130	220	332	1 011	2 675	4 373	下部
2014年4月4日	1 109	2 963	155	224	380	1 015	2 743	4 451	下部

1. 故障产气速率分析

(1) 总烃相对产气速率

$$\begin{aligned}\gamma_T &= \{[(C_{i2} - C_{i1})/C_{i1}]/\Delta t\} \times 100\% \\ &= \{[(4 451 - 4 373)/4 373]/0.1\} \times 100\% \\ &= 17.8\%/月 \geq 10\%/月\end{aligned}$$

(2) 乙炔相对产气速率

$$\begin{aligned}\gamma_T &= \{[(C_{i2} - C_{i1})/C_{i1}]/\Delta t\} \times 100\% \\ &= \{[(224 - 220)/220]/0.1\} \times 100\% \\ &= 18\%/月 \geq 10\%/月\end{aligned}$$

国家标准规定相对产气速率注意值不大于10%/月，因此可认为设备有异常。

2. 用判断故障性质的三比值法来分析

$$C_2H_2/C_2H_4 = 224/2 963 \approx 0.07$$

$$CH_4/H_2 = 1 109/380 \approx 2.9$$

$$C_2H_4/C_2H_6 = 2 963/155 \approx 19$$

上述比值范围编码为(0、2、2)，故障性质为高于700 $^{\circ}\text{C}$ 高温范围的过热故障^[3]。

用经验公式计算温度，表达式为

$$\begin{aligned}T &= [322 \lg(C_2H_4/C_2H_6) + 525]^{\circ}\text{C} \\ &= [322 \lg(2 963/155) + 525]^{\circ}\text{C} = 936.5^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

其估算温度也与上述结论相符，热点温度接近1 000 $^{\circ}\text{C}$ 。因此满足判据条件，可判断是变压器高温过热故障。

故障位置的判断

1. 电气试验

由于故障特征气体含量较高，特别是乙炔含量更高，因此变压器停运，需进行全面的电气试验检查，即变压器一次和二次绕组直流电阻、绕组绝缘电阻及吸收比、绕组的介损及电容量、绕组所有分接的电压比、铁心绝缘电阻、空载电流和空载损耗以及有载调压装置的试验检查项目。除空载电流和空载损耗试验数据与铭牌值比较有所增加外，均未发现异常。空载损耗为18 kW（铭牌值为7 kW），空载电流为0.59 A（铭牌值为0.4 A），可怀疑变压器铁心存在故障^[4]。

根据油色谱中乙炔含量高的情况，采用40 A电流对变压器电路部分绕组、分接开关及套管与绕组连接部位进行直流电阻测试，结果仍未发现问题。因此变压器电路部分故障可能性小。

2. 有载调压装置油色谱试验

总烃、乙炔含量较高，怀疑有载调压装置小油箱发生渗漏，使有载调压开关里乙炔含量极高的油向变压器本体中渗透，造成油中溶解气体组分含量极高^[5]。2014年4月5日，对有载调压开关油进行色谱分析试验，气体含量无异常，排除其影响的可能性。试验数据如表2所示。

表2 主变压器有载调压油色谱分析数据

(单位： $\mu\text{L/L}$)

取样时间	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	H_2	CO	CO_2	总烃	备注
2013年4月5日	9.4	4.6	0.59	0.78	22.3	26.5	1 071	15.4	下部

了解变压器检修维护记录，2013年10月15日~2014年4月1日期间无带油补焊，无其他维护

处理。

综合油色谱分析及电气试验结果，初步判断变压器磁路部分（铁心）存在高温过热性故障隐患，但不能排除电路部分存在故障隐患。

故障处理及原因分析

1. 变压器解体检查处理

受现场条件限制，变压器返厂检查处理。2014年4月10日变压器返厂解体检查。检查绕组与高压套管连接部位接触良好，各相绕组外观正常，未发现变形、短路、放电、破损或过热烧灼痕迹，有载调压装置与绕组连接部位接触良好，未见异常。铁心解体检查过程中发现硅钢片多片存在局部多点过热痕迹，上铁心高压侧第四簇其中一片硅钢片两面有面积高温灼热、烧黑痕迹。硅钢片处理后重新叠装，变压器组装试验合格后出厂。严重烧黑的硅钢片如下图所示。

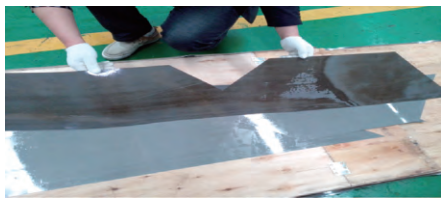


图 烧黑的硅钢片

2. 故障原因

铁心硅钢片质量及处理工艺差导致变压器质量控制出现问题。硅钢片绝缘层薄，绝缘漆膜涂刷不均匀，绝缘性能下降，片间绝缘结构局部破坏，造成一簇硅钢片局部短路，引起较大涡流，环流增大，从而导致局部过热，单片过电流发热。在变压器负荷较大时，这种故障会更加严重。

同时该变压器油循环、油道设计不合理，造成变压器散热效果不好，变压器油高温老化裂解。

遗留问题

1. 油中溶解气体分析故障诊断技术局限性

这是个特殊、少见的变压器故障案例。该变压器发生高温过热故障是肯定的，但很高乙炔含量的过热故障发生在磁路的案例并不多见。根据

分析，乙炔含量高达224 $\mu\text{L/L}$ ，占总烃含量5%； $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ 比值为19，也较高；并且 C_2H_4 产气速率高于 CH_4 的产气速率；这些特征属于电路过热特征。可是与实际的故障位置不相符，且硅钢片不是多片大面积烧结，是否存在其他问题导致故障特征气体的产生尚不确定。

2. 变压器过励磁状态的影响

当系统故障，工频电压升高，使变压器处于过励磁状态时，一方面由于过励磁振荡，可能使油中原来溶解的气体逸出，甚至使轻气体继电器动作；另一方面由于铁心过饱和，励磁电流急增或漏磁增加，将造成短时局部过热，从而产生较多的特征气体，过励磁后过热性故障特征气体明显增加。当恢复正常励磁时，往往这种过热现象会自行消失。

结束语

磁路高温过热产生较高含量乙炔的原因值得探讨，这对变压器过热部位诊断有借鉴意义。过热故障部位的判断与处理措施应结合设备运行情况、试验情况和检修维护情况综合分析作出决定。油中溶解气体色谱分析技术与电气试验相结合对判断更有利。变压器安装、大修后应进行全面的试验，便于监督变压器制造质量与制造工艺，并掌握变压器基础试验数据。

参考文献

- [1] 操敦奎. 变压器油中气体分析诊断与故障检查[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 李德志. 电力变压器油色谱分析及故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [3] DL/T 7252—2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 2001.
- [4] 陈化刚. 电气设备预防性试验方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [5] 董其国. 电力变压器故障与诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

(收稿日期: 2014-05-15) EA