

充油式变压器绝缘油CO<sub>2</sub>、CO含量偏高原因分析及处理对策

池海江，吴敬苏，张 杰

(太仓港协鑫发电有限公司，江苏 太仓 215433)

**摘 要:** 本文介绍太仓港协鑫发电有限公司 6 号机组高压厂用变压器绝缘油色谱数值偏高的问题。阐述了通过对充油电气设备绝缘油中溶解气体的色谱分析，判断充油电气设备内部是否存在潜伏故障。并根据故障产生气体的类型、含量以及产气速率的不同进一步判断故障的性质，并通过真空滤油的方法，处理绝缘油。同时结合其它相关电气试验，判断设备故障的严重程度及危害性，提出相应的处理对策。

**关键词:** 变压器；绝缘油；真空滤油；色谱分析

0 前言

高压厂用变压器是发电厂主要设备之一，其运行的稳定性直接影响发电机组的运行稳定。确保高压厂用变压器能够安全稳定运行，应对运行中的变压器采取有效的技术手段进行精密点检，并对点检数据跟踪是必不可少的。

太仓港协鑫发电有限公司 6 号机组高压厂用变压器为沈阳变压器有限公司生产的自然油循环风冷分裂式变压器，2004 年 12 月投入运行。

表 1 为 6 号机组高压厂用变压器参数。

表 1 6 号机组高压厂用变压器参数

名称	参数	名称	参数
设备型号	SFF10-CY-50000/203	上节油箱重量	4.85t
额定容量	50000/31500-31500 kVA	总重量	65.57t
额定频率	50Hz	空载损耗	33.2kW
冷却方式	ONAN/ONAF (60/100%)	器身重量	40.72t
连接组标号	Dynl-ynl	油重	13.5t
使用条件	户外	空载损耗	33.2kW

运行中对充油式变压器的监控手段有下述几种：远红外测温、变压器绝缘油色谱分析、铁心电流监测、充油式变压器外观检查等。其中远红外测温比较直观地发现变压器的外部缺陷，如接线柱过热等缺陷。而采用绝缘油色谱分析对发现变压器内部故障非常可靠。

太仓港协鑫发电有限公司按照技术监督相关要求，长期对公司内所有充油式变压器绝缘油定期做色谱分析试验。2009 年 8 月在定期对 6 号机组高压厂用变压器绝缘油色谱分析试验时，发现该变压器绝缘油较公司内其它变压器绝缘油 CO<sub>2</sub>、CO 含量高。此后连续多次进行绝缘油色谱

跟踪试验，均发现绝缘油 CO<sub>2</sub>、CO 含量高且增量不稳定，在 2011 年 6 号机组 605-04C 级检修过程中对此台变压器的绝缘系统做详细检查处理。

根据此台变压器实际运行的情况利用绝缘油色谱分析并结合相关变压器本体电气试验数据，经过绝缘监督小组讨论后判定 6 号高厂变本体绝缘正常，绝缘油中 CO<sub>2</sub>、CO 含量偏高系变压器本体某些固体绝缘材料逐渐老化所致。为此利用真空滤油方法对变压器绝缘油进行热油循环、真空脱气处理。

1 故障原因

6 号机组高压厂用变压器于 2004 年 12 月投入运行。2009 年 8 月，在对该变压器绝缘油定期色谱分析试验时，发现 6 号高厂变绝缘油较公司其它高厂变绝缘油 CO<sub>2</sub>、CO 含量高。此后连续多次进行绝缘油色谱跟踪试验，均发现绝缘油 CO<sub>2</sub>、CO 含量不稳定，具体试验数据见表 2、图 1、2。

表 2 二、三期高厂变绝缘油色谱试验数据

机 组	项 目	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
		μL/L	μL/L	μL/L	μL/L	μL/L	μL/L	μL/L	μL/L
	时间	≤150	~	~	~	≤5	≤150	~	~
3 号	2011.02.11	11	14.4	2.1	1.2	0	17.8	232	1758
	2011.04.25	26	14.8	1.86	1.01	0	17.71	240	1434
4 号	2011.02.11	7	7.3	1.4	0.6	0	9.3	156	952
	2011.04.25	26	8.46	1.62	0.86	0	10.94	156	910
5 号	2011.01.25	17	3.4	0.4	0.8	0	4.6	94	1193
	2011.04.25	19	3.9	0.8	0.3	0	5.1	90	984
6 号	2010.08.11	49	8.4	5.4	4.7	0	18.5	409	2652
6 号	2010.09.08	34	8.87	6.41	5.45	0	20.72	426	3022
6 号	2010.11.09	33	9.5	6	5.9	0	21.5	582	3728
6 号	2011.01.25	36	10.4	5.6	5.6	0	21.5	639	3240
6 号	2011.04.17	51	9.77	7.54	6.77	0	24.08	541	3373
6 号	2011.05.24 (处理后)	20	0.72	0	0.58	0	1.3	0	277

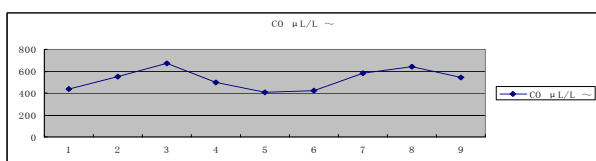


图 1 6 号高厂变绝缘油 CO 含量曲线图

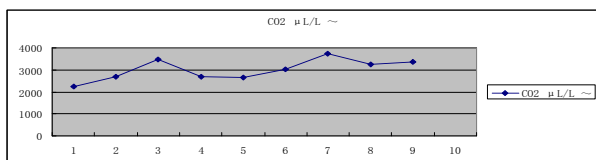


图 2 6 号高厂变绝缘油 CO<sub>2</sub> 含量曲线图

表 3、4、5、6 为 2011 年 6 号机组 605-04C 修 6 号高压厂用变压器本体进行电气预防性试验数据。

表 3 变压器绝缘电阻试验数据

项目	15s	60s	R <sub>60</sub> /R <sub>15</sub>
绝缘电阻 /MΩ			
高压侧	25300	36500	1.44
低压侧 I	1500	2500	1.67
低压侧 II	1300	2500	1.92
铁芯绝缘电阻/MΩ	2500		

表 4 变压器直流电阻试验 Ω

项目	AB(ao)	BC(bo)	CA(co)	ΔR/ %
高压侧 (III)	0.01693	0.01641	0.01645	0.2
低压侧 I	0.001615	0.001625	0.001632	1.1
低压侧 II	0.001537	0.001544	0.001523	1.4

表 5 变压器直流泄漏试验数据

项目	参数	
高压侧	10kV/1μA	20kV/2μA
低压侧 I	5kV/1μA	10kV/2μA
低压侧 II	5kV/1μA	10kV/3μA

表 6 介质损耗试验数据

项目	C <sub>x</sub> / pF	介损 / %
高压侧	10880	0.281
低压侧 I	9359	0.325
低压侧 II	9020	0.337

变压器本体电气预防性试验数据分析：2011 年 4 月 6 号机组 605-04C 修中 6 号高压厂用变压器本体的绝缘电阻、直流电阻、直流泄漏、介质损耗各项数据均在标准范围内。同时与 2009 年 6 号机组 604-01A 级检修中此台变压器的试验数据进行比较，均无明显变化。

绝缘油色谱试验数据分析：6 号高压厂用变压器绝缘油气体中 H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> 等含量均在合格范围内，只有 CO<sub>2</sub>、CO 含量超标。按照 DL/T722—2000《变压器油中溶解气体分析和判断导则》，利用“三比值”故障判断方法（选用绝缘油中 5 种特征气体（氢、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔）构成三对比值，在相同的情况下把这些比值以不同的编码表示，根据测试结果

把三对比值换算成对应的编码组，然后查表对应得出故障类型和故障的大体部位的方法。)结合电气预防性试验数据判断 6 号高厂变绝缘系统正常。绝缘油样中 CO<sub>2</sub>、CO 含量偏高有可能系变压器本体某些固体绝缘材料老化所致。

在变压器等充油设备中，主要的绝缘材料是绝缘油和绝缘纸板等。绝缘材料在变压器运行过程中受多种因素的作用将逐渐老化。绝缘油分解产生的主要气体是氢、烃类气体，绝缘纸等固体绝缘材料分解产生的主要气体是 CO<sub>2</sub>、CO。因此可将 CO<sub>2</sub>、CO 作为油纸绝缘系统中固体材料分解的特征气体。大型变压器发生低温过热性故障时，因温度不高，往往油的分解不剧烈，因此烃类气体含量并不高，而 CO<sub>2</sub>、CO 含量变化较大。故可用 CO<sub>2</sub>、CO 的产气速率和绝对值来判断变压器固体绝缘老化状况。

关于 CO<sub>2</sub>、CO 的判断，国标 DL/T722—2000《变压器油中溶解气体分析和判断导则》（只对开放式变压器作规定）认为如总烃含量超出正常范围，而 CO 含量超过 300μL/L，应考虑涉及到固体绝缘过热的可能性；若 CO 含量虽超过 300μL/L，但总烃含量在正常范围，一般可认为是正常的。见图 3。带统包绝缘的变压器，当 CO 含量超过 300μL/L，即使总烃含量正常，也可能有固体绝缘过热故障。对具有薄膜密封油枕的变压器，油中 CO 含量一般均高于开放式变压器，且在投运前几年增长速率较快。因此此类型变压器没有作相关规定。

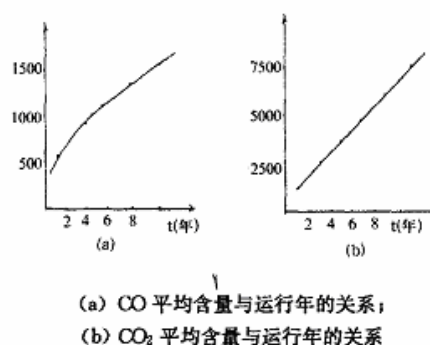


图 3 变压器油中溶解气体 CO、CO<sub>2</sub> 平均含量与运行年的关系

自 2009 年以来 6 号高厂变变压器绝缘油色谱分析中 CO<sub>2</sub>、CO 含量呈总体上升趋势。其峰值为 CO 639μL/L、CO<sub>2</sub> 3728μL/L，多次油样化验中总烃含量均未超出正常范围。参照国标中相关规

定若CO含量超过 300 $\mu$ L/L, 存在变压器内部固体绝缘过热的可能性。对于油样中CO<sub>2</sub>、CO含量国标中仅作为次要的参考依据。为此进行变压器绝缘油热油循环、真空脱气处理。机组投运后继续观察CO<sub>2</sub>、CO含量增长速率, 视情况再做处理。

## 2 处理办法

鉴于 6 号高厂变绝缘油样中CO<sub>2</sub>、CO含量偏高系变压器本体内某些固体绝缘材料逐渐老化所致。加之历次机组检修过程中对变压器本体的相关电气试验均合格。为此采取真空滤油方法对变压器绝缘油进行真空滤油的处理办法以提高其油品品质。

按照要求进行真空滤油。在检查变压器密封性能完好、管路无渗漏后开始运行真空滤油机。将滤油机加热罐加热至 65℃后开始计时, 加热过程中注意变压器器身温度不能超过 20℃。真空滤油 24 小时结束, 变压器静置 24 小时。在此期间从变压器的套管、升高座、冷却装置、气体继电器及压力释放阀等有关部位进行多次放气。其后进行变压器本体电气预防性试验, 试验数据合格。

变压器进行真空滤油后绝缘油样色谱分析试验 CO<sub>2</sub>含量 179 $\mu$ L/L、CO含量 7 $\mu$ L/L, 绝缘油中CO<sub>2</sub>、CO含量均下降到正常范围。变压器运行半年后绝缘油色谱分析试验 CO<sub>2</sub>含量 1492  $\mu$ L/L、CO含量 177 $\mu$ L/L。与我公司其他机组数据比较其增长速率正常。在变压器运行过程中继续跟踪此数据若有异常及时分析处理。对于此类变压器日常的绝缘油色谱分析时发现特征气体含量超过注意值时应引起足够的重视。利用判断故障性质的“三比值法”的同时, 应结合变压器运行过程中的可能原因加以分析, 防止故障扩大化。

## 3 结束语

6 号高压厂用变压器绝缘油中CO<sub>2</sub>、CO含量偏高处理是我公司开展设备精密点检管理后依靠先进的检验设备, 利用科学的检测方法对现场设备异常进行专业化准确判断的一起典型事例。精密点检管理能够确定设备的技术状况和劣化程度。在设备点检过程中发现的问题在在检修过程中处理及时控制设备异常源头, 实现对现场设备的闭环管理。