

# 变压器绝缘老化分析

刘松涛<sup>1</sup>,程振江<sup>1</sup>,滕跃<sup>1</sup>,尉青连<sup>1</sup>,屠红梅<sup>2</sup>

(1.白山发电厂,吉林桦甸 132400; 2.东北电力科学研究院,辽宁沈阳 110006)

摘要:对一台 220kV 变压器的绝缘老化情况进行了分析,并提出了处理措施。

关键词:变压器;绝缘;分析

中图分类号:TM406 文献标识码:B 文章编号:1001-8425(2009)05-0046-03

## Analysis of Transformer Insulation Ageing

LIU Song-tao<sup>1</sup>, CHENG Zhen-jiang<sup>1</sup>, TENG Yue<sup>1</sup>, WEI Qing-lian<sup>1</sup>, TU Hong-mei<sup>2</sup>

(1.Baishan Power Plant, Huadian 132400, China; 2.Northeast Electric Power Research Institute, Shenyang 110006, China)

Abstract: The condition of insulation ageing for a 220kV Transformer is analyzed. The treatment measures are presented.

Key words: Transformer; Insulation; Analysis

### 1 前言

白山发电厂 5 号主变压器型号为 SFP<sub>7</sub>-360000/220,1991 年 12 月投产运行。该变压器是 20 世纪 90 年代设计和制造的,采用了日本变压器制造技术,其绝缘材质采用统包绝缘窄油道设计,绕组首端和尾端的油道宽度为 6mm,中间部分宽度为 3mm,使油箱体积较以往同容量变压器大幅度缩小,节省了绝缘油,方便了运输,降低了制造成本。但由于当时绝缘材质和工艺水平较日本落后,投运后,随着设备运行时间的增加,绝缘油道也越来越窄,绕组首端和尾部的油道最窄处宽度为 3mm,中间部分宽度为 1.5mm(见图 1),较投运前减小了 50%,从而导致油流速度下降,散热效果不理想,给变压器的绝缘水平带来了极大的危害。

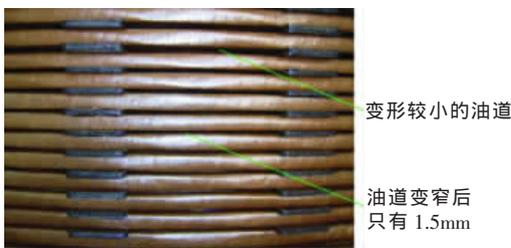


图 1 变压器绕组油道变窄情况

Fig.1 Narrow condition of transformer oil duct

### 2 变压器绝缘老化分析

5 号主变平均年运行 1 425.02h,15 年累计运行 19 375h。变压器按 360 000kVA 额定负载运行,运行电流基本为额定电流,高压侧为 859A,低压侧为 11 547A。变压器技术数据见表 1。

表 1 变压器技术数据

Table 1 Data of transformer

名称	数据
型号	SFP <sub>7</sub> -360000/220
额定容量/kVA	360 000
电压组合/kV	(242±2×2.5%)/18
冷却方式	ODAF
绝缘水平	LI950AC395-L1400AC200/LI125AC55
额定温升/K	55

#### 2.1 色谱数据分析

变压器绝缘老化主要有变压器油和纤维素绝缘材料两方面的老化。变压器油老化主要是氧化反应,铜为催化剂。油中的氧在水分、温度作用下使老化加速,生成醇、醛、酮等氧化物及酸性化合物,最终析出油泥。油氧化反应形成少量的 CO 和 CO<sub>2</sub>,随着运行中气体的积累,CO 和 CO<sub>2</sub> 将成为油中气体的主要成分。

随着运行年数的增加,绝缘材料老化,使CO和CO<sub>2</sub>的含量逐渐增加。由于CO<sub>2</sub>较容易溶解于油中,而CO在油中的溶解度小、易逸散,因此CO<sub>2</sub>/CO一般是随着运行年限的增加而逐渐变大。当CO<sub>2</sub>/CO大于7时,认为绝缘可能老化,也可能是大面积低温过热故障引起的非正常老化,数据如表2所示。由表2可知,2001年和2002年连续两年出现CO<sub>2</sub>/CO大于7(也有大于10)的现象,初步判断有绝缘老化的可能性。

表2 变压器油中溶解气体含量数据统计

Table 2 Statistical data of contents of gasses in transformer oil

检测日期	气体组份/ $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$								CO <sub>2</sub> /CO
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	总烃	CO	CO <sub>2</sub>	
2001-07-26	41.2	5.0	9.0	0	0	13.9	108.4	2 902.8	26.78
2002-03-23	37.5	6.8	6.0	2.0	0	14.7	212.2	2 314.5	10.91
2003-03-26	28.6	8.7	6.4	1.7	0	16.8	485.2	2 178.1	4.49
2004-03-24	33.0	12.2	7.2	3.6	0.5	23.6	627.0	1 821.0	2.90
2005-03-23	34.0	11.7	7.8	4.7	0.5	24.7	698.0	3 222.0	4.62
2006-02-22	30.0	13.1	7.4	4.6	0.1	25.2	865.0	3 460.0	4.00
2007-03-21	51.0	12.2	7.0	6.0	0.6	25.8	696.0	3 664.0	5.26

注:2005年5月变压器大修滤油。

不同变压器投产初期CO含量差别很大。不满足公式(1)时,要引起注意。

$$C_n \leq C_{n-1} \times 1.2^{\frac{2}{n}}, \mu\text{L/L} \quad (n \geq 2) \quad (1)$$

$C_n$ ——运行n年的CO年平均含量

n——运行年数

将表2中2001年CO数据带入式(1),即:

$$C_{10} \leq C_9 \times 1.2^{\frac{1}{5}}, \mu\text{L/L}$$

可得:212.2 > 112.4,即不满足公式(1)。由此可以判断绝缘存在大面积低温过热引起的非正常老化。

IEC导则推荐以CO/CO<sub>2</sub>比值作为判断,即该比值大于0.33或小于0.09表示可能有纤维素绝缘分解故障。将2001年CO和CO<sub>2</sub>数据带入,即:

$$\text{CO}/\text{CO}_2 = 108.4/2\ 902.8 = 0.037 < 0.09$$

判断可能存在纤维素绝缘分解故障。

## 2.2 糠醛数据分析

变压器油中的糠醛含量随运行时间的增加而增加,但不同变压器除了制造上的固有差异外,还因运行中环境温度、负载率等不同,造成在相同运行时间内糠醛含量的分散性;另外变压器油纸比例不同,测试结果用单位体积油中糠醛的毫克量表示,使相同老化状况的不同设备的测试结果出现不同;变压器油处理也是影响糠醛含量的重要因素。变压器油中

糠醛含量试验数据如表3所示。

表3 变压器油中糠醛含量试验数据统计

Table 3 Data of furfural contents in transformer oil

序号	试验日期	油中糠醛含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	运行年限/年
1	1996-08-22	0.560	5
2	1996-11-26	0.728	5
3	1997-08-14	0.626	6
4	1998-07-02	0.570	7
5	1998-08-13	0.581	7
6	1998-09-16	0.573	7
7	1999-04-22	0.498	8
8	1999-09-24	0.520	8
9	2000-03-08	0.560	9
10	2000-10-25	0.590	9
11	2001-04-12	0.682	10
12	2001-07-10	0.527	10
13	2001-12-11	0.558	10
14	2002-04-16	0.488	11
15	2002-07-05	0.525	11
16	2002-11-12	0.529	11
17	2003-04-25	0.54	12
18	2003-07-25	0.53	12
19	2003-10-29	0.51	12
20	2004-03-30	0.34	13
21	2004-08-19	0.59	13
22	2004-09-14	0.49	13
23	2005-04-12	0.42	14
24	2005-07-31	0.44	14
25	2005-11-01	0.60	14
26	2006-04-21	0.43	15
27	2006-08-23	0.52	15
28	2006-11-10	0.55	15
29	2007-09-12	—	退出运行

注:DL/T596-1996《电力设备预防性试验规程》中规定:运行年限为5年~10年糠醛含量0.2mg/L;运行年限为10年~15年糠醛含量0.4mg/L(2001年~2002年期间两台主变均大修滤油)。

DL/T596-1996《电力设备预防性试验规程》中所规定的非正常老化及老化严重的限值,见表4。按表3的糠醛含量数据进行比较,可判断变压器存在绝缘老化。

表4 变压器运行年限与糠醛量

Table 4 Furfural contents and operation time of transformer

运行年限/年	1~5	5~10	10~15	15~20
糠醛量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.1	0.2	0.4	0.75

变压器油中糠醛含量的下限值应满足式(2):

$$\log(f) = -1.65 + 0.08t \quad (2)$$

按运行5年计算糠醛含量,可得出:

$$\log(f) = -1.65 + 0.08 \times 5$$

$f=0.056$

式中  $f$ ——糠醛含量,mg/L

$t$ ——运行年限

与表 3 运行 5 年的糠醛数据进行比较,可得到  $0.728>0.056$ ;说明此糠醛含量已经超出下限值,可判断为非正常绝缘老化。变压器油中糠醛含量统计如图 2 所示。

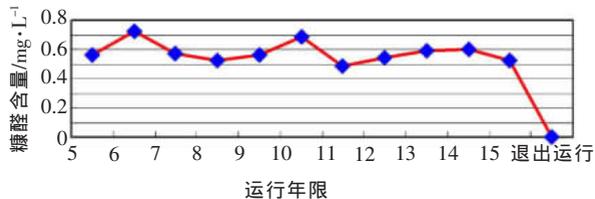


图 2 变压器油中糠醛含量曲线

Fig.2 Curve of furfural contents in transformer oil

由图 2 可知,5 号变压器的糠醛含量在运行 5 年(1996 年)后开始下降。从检修记录可知,该变压器随机组大修,绝缘油也相应进行了处理。变压器运行 5 年,糠醛含量达到 0.728mg/L,说明该变压器的绝缘过热面积已经很大,但温度最高处的局部绝缘炭化还没有达到导致匝(层)间击穿的程度(从油的热分解产生的烃类气体含量很少可得到证明)。由于变压器油中的糠醛是唯有纸(板)绝缘老化才出现的产物,只要测试正确,测到糠醛含量高,就代表纤维素绝缘老化严重;反之,含量低时,不一定说

明老化不严重,因外界因素只能使测试到的含量降低而不会使含量自动升高。因此,一旦发现测试结果高时,必须引起重视,后来数值变低,往往是受干扰所致。

### 3 结束语

综上所述,变压器运行后,经过长期的热效应积累,绕组绝缘受热膨胀,致使原本统包绝缘窄油道变得更窄,冷却油流速慢,不能充分带走绕组的热量。绕组绝缘纸受热后逐渐老化,析出各种有机气体和糠醛,经论证,变压器存在非正常绝缘老化现象。

变压器油中溶解气体分析对监测变压器各种故障有着重要的作用;同时,油中糠醛含量及绝缘纸聚合度测试是对变压器老化诊断的重要手段。1996 年到 2007 年,每年对变压器进行油中气体含量的测试和糠醛试验,有效地监视了变压器运行状态和主绝缘老化程度。在色谱试验和糠醛试验跟踪十年后,为保证电力设备的顺利进行,该变压器退出运行,更换了一台新变压器,从而彻底消除了设备隐患,确保了电网发供电的安全生产。

### 参考文献:

[1] DL/T7252-2001. 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].

[2] DL/T984-2005.油浸式变压器绝缘老化判断导则[S].

收稿日期:2008-09-15

作者简介:刘松涛(1975-),男,吉林人,白山发电厂工程师,从事电气一次设备的技术管理工作。

### 征文通知

随着经济的迅速发展,电力负荷密度逐渐增大,依靠 10kV 中压配电网供电的地区呈现出供电能力不足、电压水平偏低及网损较大等诸多缺点。因此,发展 20kV 中压配电网就成为解决这些问题的有效措施,同时,也符合国家大力倡导的“节能减排”要求。为配合我国中压配电网推广应用 20kV 电压等级供电,《变压器》杂志编辑部拟在下半年出版 20kV 配电变压器技术专刊。为此,特征集 20kV 配电变压器技术方面的论文,敬请赐稿。

#### 1. 征文范围

(1)国内外 20kV 配电网用变压器(含低压为 20kV 的 110kV 和 66kV 级主变压器)产品及其组件的设计与制造工艺方面的技术成果介绍;

(2)国内外 20kV 配电网用变压器(含低压为 20kV 的 110kV 和 66kV 级主变压器)的试验技术和变压器故障检测技术介绍;

(3)国内外 20kV 配电网用变压器(含低压为 20kV 的 110kV 和 66kV 级主变压器)运行维护方面的新经

验、新技术介绍;

(4)20kV 配电网用变压器(含低压为 20kV 的 110kV 和 66kV 级主变压器)理论研究的最新成果介绍。

#### 2. 征文要求

(1)内容翔实、简练通顺,尚未在国内外报刊上公开发表;

(2)论文格式要求见《变压器》杂志征稿启事;

(3)征文截止日期:2009 年 7 月 31 日;

(4)论文将收录到《第五届全国变压器技术自主创新研讨会论文集》中,并参加优秀论文评选活动,论文作者可获邀参加“第五届全国变压器技术自主创新研讨会”。

联系地址:沈阳市浑南新区世纪路 39 号

邮编:110179

电话:(024)23929375 23929376 23787022-8226

传真:(024)23929376

电子邮箱:sti-tp@vip.tom.com

沈阳变压器研究院《变压器》杂志编辑部

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [变压器绝缘老化的诊断与寿命评估](#)
2. [电力变压器常见故障分析及其处理](#)
3. [基于PI数据库的变压器绕组绝缘分析系统](#)
4. [水分对变压器寿命的影响](#)
5. [大亚湾核电站变压器老化分析、寿命管理及探讨](#)
6. [电力变压器寿命周期管理——浅析变压器绝缘老化](#)
7. [变压器绝缘老化分析](#)
8. [浅谈变压器固体绝缘及其老化分析](#)
9. [天然酯-普通纸\(或热稳定纸\)绝缘热老化特性](#)
10. [变压器绝缘诊断方法](#)