

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.05.026

一台新投运500 kV变压器油色谱异常的缺陷诊断和处理

胡 然^{1,2}, 罗 维^{1,2}, 王瑞珍^{1,2}, 周 凯^{1,2}

(1. 国网湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉 430077;

2. 国家电网公司高压电气设备现场试验技术重点实验室, 武汉 430077)

摘要: 变压器油色谱分析是发现变压器内部早期潜伏性故障的重要手段, 笔者针对某500 kV变压器在投运初期发生的油色谱异常情况, 结合变压器局部放电带电检测和故障定位, 综合分析判断了缺陷性质和部位, 为随后变压器的内部检查和消缺处理提供了有力的指导意见。内部检查结果与色谱分析、局放定位结果相吻合, 充分验证了故障诊断方法的有效性和正确性, 为大型变压器油色谱异常后的故障诊断和缺陷处理提供了经验。

关键词: 500 kV变压器; 油色谱分析; 局放超声定位; 缺陷诊断

Defect Diagnosis and Treatment of a New 500 kV Transformer with Abnormal DGA Data

HU Ran^{1,2}, LUO Wei^{1,2}, WANG Ruizhen^{1,2}, ZHOU Kai^{1,2}

(1. Hubei Electric Power Research Institute, Wuhan 430077, China;

2. Key Laboratory of High-voltage Field-test Technique of State Grid Corporation, Wuhan 430077, China)

Abstract: Dissolved gas analysis(DGA)plays an important role in transformer latent defect diagnosis. Based on a new 500 kV transformer with abnormal DGA data, combined with on-line PD detection and ultrasonic location, the defect properties and locations are analyzed and diagnosed synthetically, which provides convincing guidance for succedent internal check and defects elimination. The actual results coincide well with the preceding analysis, which have fully confirmed the availability and validity of the defect diagnosis methods, and provide some useful experiences for defect diagnosis of large transformers.

Key words: 500 kV transformer; dissolved gas analysis(DGA); PD ultrasonic location; defect diagnosis

0 引言

气相色谱法分析绝缘油中溶解气体,在无需停电的情况下,通过油色谱检测定期对变压器内部状况进行诊断,及时发现内部缺陷,是保障变压器安全稳定运行的一个重要手段^[1-4]。有一些设备的早期潜伏或局部故障,如变压器铁心多点接地,变压器内部线圈轻微匝间短路和比较轻微的放电等故障,实际中往往很难察觉,而通过绝缘油中溶解气体检测分析,在油中故障特征气体体积分数的变化情况中就可以得到灵敏的反映。但油色谱检测数据无法包含对故障类型和位置进行精确判断的足够的信息,实际应用中,要根据实际情况结合各种有效的检测手段综合分析判断,才能取得更好的故障诊断

效果^[5-9]。

1 异常情况简述

2013年11月,某变电站500 kV 2号主变投运,该变压器为某合资变压器厂于2013年7月生产的ODFS-334000/500单相自耦变压器,此前安装和交接过程中的电气试验和油色谱检测均未见异常。按照规程要求,应在投运后第1、4、10、30天各进行一次绝缘油色谱检测^[10]。在进行第1天油中溶解气体分析时,发现该C相主变油色谱数据出现异常,乙炔体积分数从0增至0.7 $\mu\text{L/L}$,总烃体积分数也明显高于A、B两相;投运10天后乙炔体积分数已超过注意值。充分考虑了引起油中溶解气体异常的可能的非故障原因并逐一排除后,初步认为该2号主变C相本体内部存在故障点,该处绝缘油在

故障作用下发生分解导致油色谱数据异常。

2 油色谱数据分析

2号主变 A、B、C 三相油色谱跟踪检测结果见表 1~3。可见 A、B 两相无异常,C 相乙炔体积分数从投运后 1 天的 0.7 $\mu\text{L/L}$ 增长到 13 天的 1.4 $\mu\text{L/L}$,同时总烃也呈明显增长趋势。C 相主要故障特征气体体积分数趋势图见图 1。计算三比值编码为“102”,对应的故障类型为电弧放电。但某些情况下运行中变压器在故障初期,尤其是新投运变压器,考虑到固体绝缘材料的吸附作用,检测到的油中某些故障特征气体体积分数绝对值比实际值偏低^[1];此外,由

于溶解气体分析本身存在的试验误差,导致计算的气体比值存在不确定性,比值的精确度随着气体体积分数的变化而变化;气体体积分数越低,比值越不准确,利用比值法所得到的结果也越不准确^[12];当气体体积分数低于 10 $\mu\text{L/L}$ 时,存在的误差使比值的精确度迅速降低^[13]。所以三比值法只能作为参考,具体故障性质须根据实际情况进行综合判断。从油色谱故障特征气体各组分的体积分数来看,故障点应为不涉及固体绝缘的裸金属低能量放电,同时伴有过热。另外,比较投运 13 天上部和下部油色谱数据发现,上部油样故障特征气体体积分数明显低于下部,判断故障点应位于变压器下部。

表 1 2号主变A相油色谱检测结果

Table 1 No.2 transformer DGA data of A phase								$\mu\text{L/L}$
时间	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	CO	CO_2	ΣCH
投运 1 天(下部)	1	0.50	0.05	0.05	0.00	15	92	0.60
投运 4 天(下部)	2	0.33	0.12	0.05	0.00	16	128	0.50
投运 10 天(下部)	2	0.60	0.30	0.10	0.00	19	188	1.00

表 2 2号主变 B 相油色谱检测结果

Table 2 No.2 transformer DGA data of B phase								$\mu\text{L/L}$
时间	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	CO	CO_2	ΣCH
投运 1 天(下部)	1	0.43	0.25	0.78	0.00	18	126	1.46
投运 4 天(下部)	1	0.44	0.17	0.41	0.00	16	148	1.02
投运 10 天(下部)	2	0.43	0.35	0.82	0.00	27	163	1.60

表 3 2号主变 C 相油色谱检测结果

Table 3 No.2 transformer DGA data of C phase								$\mu\text{L/L}$
时间	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	CO	CO_2	ΣCH
投运 1 天(下部)	5	3.38	5.34	1.14	0.71	25	137	10.57
投运 4 天(下部)	7	4.19	7.17	1.09	0.86	20	117	13.31
投运 7 天(下部)	7	4.92	8.13	1.47	0.92	21	149	15.44
投运 10 天(下部)	11	6.18	9.76	1.53	1.13	23	168	18.60
投运 13 天(下部)	10	7.26	12.45	1.82	1.43	25	106	22.96
投运 13 天(上部)	7	4.51	8.12	1.23	0.90	22	88	14.78

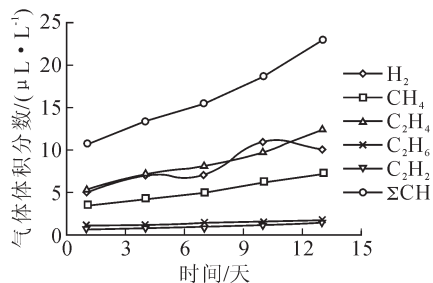


图 1 C 相油色谱主要特征气体体积分数趋势图

Fig. 1 Phase C transformer DGA data trend graph

3 局部放电带电检测及故障定位

变压器局部放电带电检测是电力企业监测变

压器运行状态的重要手段,经过多年的经验积累,目前取得了较好的效果,成功案例不断增加^[14~19]。为进一步准确诊断设备异常情况,对该 2 号主变开展了超声波局放带电检测。利用局部放电超声探测器在变压器油箱外壁上探测变压器内部局部放电超声波信号,并进行定位。4 个通道传感器布置位置见图 2。

通过局部放电测试,发现在 2 号主变 C 相低压侧 4 个检测通道均采集到疑似内部放电信号,见图 3。该超声波信号波形呈显著的脉冲衰减形式,各通道之间的相对时延稳定且稳定存在,据此分析该

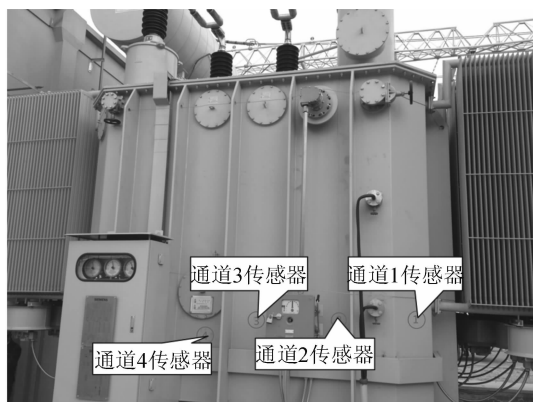


图 2 2号主变局部放电带电检测传感器布置图

Fig. 2 Sensor position of No.2 transformer PD ultrasonic live detection

2号主变 C 相通道 4 传感器附近, 即变压器本体低压侧下部附近存在内部放电。综合油色谱检测数据和超声波局放带电检测结果, 认为该变压器内部存在不涉及固体绝缘的裸金属低能量放电及过热故障点; 故障点位于 2 号主变 C 相低压侧下部附近, 在变压器运行状态下稳定存在。

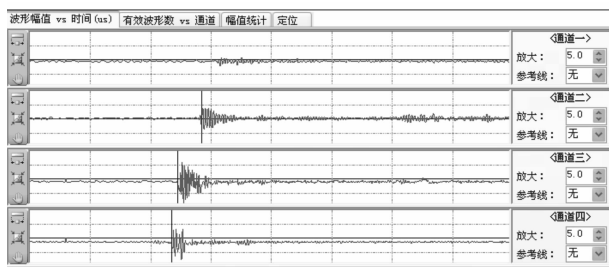


图 3 2号主变 C 相变压器采集到的放电信号波形图

Fig. 3 PD signal detected on phase C of No.2 transformer

4 检修处理情况

4.1 故障排查

初步认定了故障性质和故障点位置后, 为找到故障点并消缺, 对该 2 号主变 C 相变压器停电放油后进行内部检查。放油前, 测量了铁心对夹件、夹件对地、铁心对地之间的绝缘电阻无异常; 放油后, 打开低压套管安装手孔, 检查低压处互感器、低压套管尾部引线连接、中性点套管尾部引线连接均无异常; 最后打开人孔进入变压器内部, 分别检查了两侧油箱及箱盖上磁屏蔽、分接开关触头及引线连接、下铁轭上表面(图 4 所示 C 区)、铁心旁轭屏蔽接地(图 4 所示 B 区)、铁心下铁轭屏蔽接地、夹件屏蔽线接地(图 4 所示 A 区)、上下侧梁连接处(图 4 所示 E 区)等, 均无异常。最后检查铁心旁轭与上下铁轭连接处时(图 4 所示 D、F 区), 发现 D 区部位铁心从夹件起第 2 级靠近第 3 级处 (实际位置位于图 4 中

可见的 D 区对侧的不可见部位), 硅钢片伸出角发生变形, 与旁边的伸出角距离大约 0.5 mm, 几乎接触上, 见图 5。

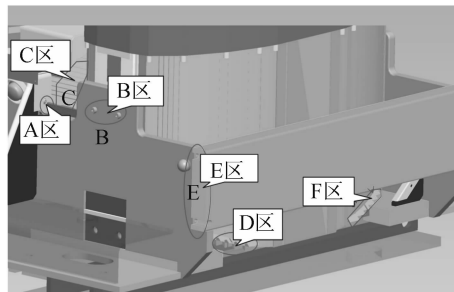


图 4 2号主变 C 相变压器内部检查示意图

Fig. 4 Internal inspection schematic diagram of phase C of No.2 transformer

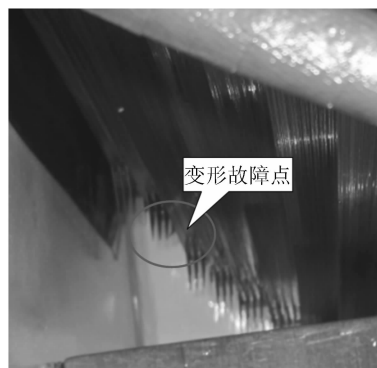


图 5 2号主变 C 相内部检查硅钢片变形故障点

Fig. 5 Silicon steel sheet deformation of phase C of No.2 transformer

4.2 故障原因分析

变压器铁心正常工作状态为一点接地, 该台变压器是在上铁轭上通过几片铜片将铁心油道短接后, 再通过小套管引出接地^[20]。变压器运行时, 处在电磁场中的铁心各点感应出的电位不同, 短接地点在铁心的顶部, 变形的伸出角尖端位于铁心下铁轭部位, 2 个尖端之间存在一定的电位差。该台变压器铁心制造工艺为步进搭接, 六级一个循环, 每级两片, 铁心搭接示意图和铁心搭接实物图见图 6。正常情况下, 铁心 2 个伸出角尖部之间间隔十片硅钢片, 正常距离为 3 mm, 变形后 2 个尖部之间的距离缩减至 0.5 mm。在正常的空载试验和局放试验时振动较弱, 2 个尖端虽然间隙小但未接触, 不发生放电, 所以在工厂试验及现场局放试验中均未发现异常, 而投运后由于励磁电流及负载电流同时存在, 铁心伸出的尖角在磁场中发生较强的振动, 静止状态下仅 0.5 mm 间距的 2 个尖端在较强振动状态下发生接触性放电, 当尖端持续接触时还会产生环流引起过热, 局部放电与过热共同导致油中溶解气体体积分数异常, 其故障性质与油色谱反映出的油中

溶解气体组分及体积分数特点相符。同时,故障点所处的位置也正符合超声定位的结果。运行经验表明,铁心是变压器易发故障部件之一,变压器铁心故障约占变压器总事故的30%左右^[21-24],应引起重视。该C相主变铁心故障不同于某些尖端、毛刺等火花放电将毛刺烧蚀后故障点即自行消除的情况,不经过处理会在相当长一段时间内稳定存在。如果没有及时发现并消除缺陷,将会对变压器的正常运行造成不良影响。

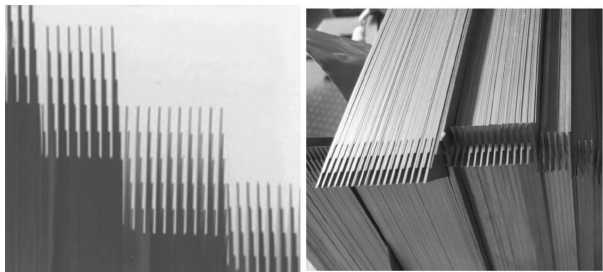


图6 2号主变铁心搭接示意图及铁心实物图
Fig. 6 Structure and physical graph of No.2 transformer core

4.3 处理措施

现场使用合适的工具将变形的尖角整形恢复至正常状态,使其片间距离恢复至正常状态下的3 mm,见图7。此外,考虑到操作过程中可能会对旁边第3级铁心片表面的漆膜有所破坏,为更加安全起见,在消缺后的伸出尖角与第3级铁心片之间增加了一条1 mm厚的绝缘纸板,并固定在适当的位置。分析铁心尖角发生变形的原因,很可能是在制造厂内硅钢片裁剪后的储存、运输、叠片某个过程中发生磕碰而没有被发现,制造厂应引起重视,严格把控每个环节,保证新设备零缺陷投运,保障变压器安全稳定运行。

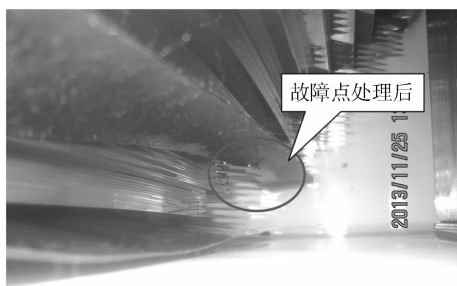


图7 C相铁心变形硅钢片尖角消缺处理后
Fig. 7 Deformed silicon steel sheet of phase C transformer after treatment

5 结论

1)笔者从变压器油色谱异常发现变压器内部缺陷出发,结合局部放电带电检测技术,成功判断出

不涉及固体绝缘的裸金属低能量放电及过热故障点,并在放油后内部检查中得到了验证,分析了故障原因,为大型变压器的运行和油色谱异常后的故障诊断和缺陷处理提供了经验。

2)该案例充分体现了油色谱试验监测变压器内部潜伏性缺陷的灵敏性和有效性,尤其在新设备投运初期,应严格按照规程规定的时间点取样分析,及早发现并及时监测变压器内部故障类型及严重程度,避免导致内部潜伏性缺陷扩大甚至新设备投运初期就发生故障等严重后果。

参考文献:

- [1] 兰淑丽,宋 昆,刘 芳. 应用气相色谱法判断500 kV变压器故障[J]. 高压电器,2008,44(4):381-382.
LAN Shuli, SONG Kun, LIU Fang. A case study on fault diagnosis of 500 kV transformer with gas chromatography method[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(4): 381-382.
- [2] 巩学宾,闫明发,魏晶霞. 一例变压器内部故障的油色谱分析诊断和处理[J]. 高压电器,2008,44(3):275-276.
GONG Xuebin, YAN Mingfa, WEI Jingxia. Oil chromatogram analysis of a fault inside transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(3): 275-276.
- [3] 余国钢,丁国成,陈庆涛,等. 一起500 kV主变压器油色谱异常原因分析与处理[J]. 变压器,2011,48(1):63-66.
YU Guogang, DING Guocheng, CHEN Qingtao, et al. Analysis and treatment of abnormal chromatographic data of oil in 500 kV main transformer[J]. Transformer, 2011, 48(1): 63-66.
- [4] 廖怀东,李海威. 变压器油色谱分析及故障判断[J]. 电力建设,2003,24(10):25-26.
LIAO Huaidong, LI Haiwei. Oil chromatographic analysis and fault diagnosis of transformers[J]. Electric Power Construction, 2003, 24(10): 25-26.
- [5] 李义仓. 一起330 kV电力变压器故障的分析及经验[J]. 高压电器,2008,44(1):91-94.
LI Yicang. Analysis and experience of a fault in a 330 kV power transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(1): 91-94.
- [6] 蒋 燕,石 红. 一起主变压器色谱异常故障的原因分析及处理[J]. 高压电器,2006,42(6):478-480.
JIANG Yan, SHI Hong. Analysis and disposal on the abnormal chromatogram fault of main transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(6): 478-480.
- [7] 陈杰华,陈忠东,曾德枝,等. 某500 kV主变压器故障的分析及处理[J]. 广东电力,2006,19(7):58-60.
CHEN Jiehua, CHEN Zhongdong, ZENG Dezhi, et al. Analysis and treatment of a 500 kV main transformer fault[J]. Guangdong Electric Power, 2006, 19(7): 58-60.

- [8] 陈志勇,李忠杰. 油中溶解气体分析在变压器故障诊断中的应用[J]. 变压器,2011,48(2):64-66.
CHEN Zhiyong,LI Zhongjie. Application of DGA to transformer fault diagnosis[J]. Transformer,2011,48(2):64-66.
- [9] 朱晓伟,梁榕珊. 温度对油纸绝缘结构的击穿特性影响的研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2014,35(1):64-68.
ZHU Xiaowei,LIANG Rongshan. Study on influence of temperature on breakdown characteristic of oil-paper insulation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2014,35(1):64-68.
- [10] Q/GDW168—2008 输变电设备状态检修试验规程[S]. 北京:国家电网公司,2008.
Q/GDW168—2008 Regulations of condition-based maintenance & test for electric equipment[S]. Beijing:State Grid Corporation of China,2008.
- [11] 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.
CAO Dunkui. Transformer oil gas analysis diagnosis and fault inspection[M]. Beijing:China Electric Power Press,2005.
- [12] 张 明,同军芳. 变压器乙炔气体超标的分析与处理[J]. 机电信息,2010(30):110-111.
ZHANG Ming,TONG Junfang. Transformer excessive acetylene gas analysis and processing[J]. Mechanical and Electrical Information,2010(30):110-111.
- [13] 贾瑞君,薛辰东. GB/T 7252—2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
JIA Ruijun,XUE Chendong. GB/T 7252—2001 Guide for the analysis and the diagnosis of gases dissolved in transformer oil[S]. Beijing:Standards Press of China,2002.
- [14] 付炜平,董俊虎,尹子会. 一例利用带电检测技术发现 500 kV 变压器内部缺陷案例[J]. 变压器,2013,50(6):74-77.
FU Weiping,DONG Junhu,YIN Zihui. Finding of internal defects of 500 kV transformer with on-line test method[J]. Transformer,2013,50(6):74-77.
- [15] 张泽华,陆国俊,王 勇,等. 变压器局部放电带电测试在电网中的应用[J]. 高电压技术,2007,33(10):217-218.
ZHANG Zehua,LU Guojun,WANG Yong,et al. On-line detection of partial discharge in transformers in power network[J]. High Voltage Engineering,2007,33(10):217-218.
- [16] 刘兴平,陈民铀. 一种配电变压器绕组变形故障的在线监测新方法[J]. 电力系统保护与控制,2013,V41(12):20-26.
LIU Xingping,CHEN Minyou. A novel method on on-line monitoring of winding deformation of transformers[J]. Power System Protection and Control,2013,V41(12):20-26.
- [17] 王 雪,王增平. 变压器电压差动保护方法研究[J]. 电力系统保护与控制,2013,V41(4):67-72.
WANG Xue,WANG Zengping. Research on the method of transformer voltage differential protection[J]. Power System Protection and Control,2013,V41(4):67-72.
- [18] 庞尔军,唐贵基,于 虹,等. 变压器信任度与安全指数的对比研究[J]. 电力系统保护与控制,2014,V42(2):139-145.
PANG Erjun,TANG Guiji,YU Hong,et al. A comparative study between the transformer trust degree and the security index[J]. Power System Protection and Control,2014,V42(2):139-145.
- [19] 郭 俊,吴广宁,张血琴,等. 局部放电检测技术的现状和发展[J]. 电工技术学报,2005,20(2):29-35.
GUO Jun,WU Guangning,ZHANG Xueqin,et al. The actuality and perspective of partial discharge detection techniques[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005,20(2):29-35.
- [20] 王少华,叶自强,梅冰笑. 输变电设备在线监测及带电检测技术在电网中的应用现状[J]. 高压电器,2011,47(4):84-90.
WANG Shaohua,YE Ziqiang,MEI Bingxiao. Application status of online monitoring and live detection technologies of transmission and distribution equipment in electric network[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(4):84-90.
- [21] 尹克宁. 变压器设计原理[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
YIN Kening. Principles of transformer design[M]. Beijing:China Electric Power Press,2003.
- [22] 王 刚,沈 巍,马 涛. 主变压器铁心故障判断与分析[J]. 高压电器,2007,43(4):313-314.
WANG Gang,SHEN Wei,MA Tao. Treatment and analysis on core fault in main transformer[J]. High Voltage Apparatus,2007,43(4):313-314.
- [23] 王天施,王清昊,侯宝明,等. 一起 220 kV 变压器铁心故障的判断与分析[J]. 高压电器,2013,49(4):119-121.
WANG Tianshi,WANG Qinghao,HOU Baoming,et al. Treatment and analysis on a core fault in 220 kV transformer[J]. High Voltage Apparatus,2013,49(4):119-121.
- [24] 陈毓昌. 大型变压器铁心多点接地故障的分析与处理[J]. 高压电器,2004,40(4):310-311.
CHEN Yuchang. Analysis and treatment of multipoint earthing faults at iron core of high capacity transformer[J]. High Voltage Apparatus,2004,40(4):310-311.
- 胡 然(1988—),女,工学硕士,工程师,从事变压器设备检测、试验及技术监督工作。

(编辑 吴俊丽)