

变压器微水在线控制与延长变压器寿命技术的研究

尧广¹, 李利红², 曾明贵¹, 熊攀¹, 王勇¹

(1. 国网泸州供电公司, 四川 泸州 646000; 2. 国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610041)

摘要: 变压器是各种电力设备中比较昂贵且最重要的设备之一,其稳定运行对于保障电网安全意义重大,而变压器的寿命主要是由绝缘材料的性能决定的。首先阐述了影响变压器寿命的因素以及老化特征量,然后对影响变压器寿命的主要因素微水进行分析,介绍了基于分子筛吸附技术的变压器微水在线控制系统,该系统可以去除变压器中微水,达到延长变压器寿命的目的。

关键词: 微水; 绝缘材料; 分子筛; 变压器寿命延长

Abstract: In power system, transformer is one of the most important equipments, its safety operation is significant to ensure the security of power grid, and the service life of transformer is decided by the life of insulating materials. Firstly, the factors that influence the life of transformer and the aging characteristics of insulating materials are described, and then the micro-water as the main factor affecting the life of transformer is analyzed. The online control system of micro-water in transformer based on molecular sieve adsorption technology is introduced, which can remove the micro-water in transformer so as to prolong the service life of transformer.

Key words: micro-water; insulating material; molecular sieve; extension of transformer life

中图分类号: TM285 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)02-0006-04

0 引言

众所周知,油浸式变压器的寿命主要是由绝缘材料的老化程度决定的。据统计,因各种类型的绝缘故障引起的事故约占全部变压器事故的85%以上^[1-3]。根据国外理论计算及实验研究数据表明,当油浸式变压器始终保持在干燥状态且温度持续在95℃,理论寿命将可达400年^[4]。而制造厂的设计要求和技术指标,一般把变压器的预期寿命定位30年,运行实例表明,维护很好的变压器,实际寿命能达到50~70年^[5]。因此,保持变压器的正常运行并加强对绝缘系统的合理维护,可以有效地保证变压器具有较长的使用寿命。

变压器油中微水含量是影响变压器绝缘强度的最重要因素,油的绝缘强度将随油中含水量的增加而快速下降。监测变压器油中微水含量,不仅可以防止变压器绝缘系统的绝缘强度降低至危险水平,同时可以对变压器整体绝缘状况进行评估^[6-9]。近年来,对变压器微水含量在线监测的研究日益受到重视,微水在线监测设备逐步在电力系统中投入使

用。但是目前国内集变压器微水在线监测与处理的设备在电力系统运用还非常少,下面介绍了变压器微水在线监测与处理系统在国网泸州供电公司的运行情况,研究了分子筛吸附技术在控制变压器油的微水含量,提高绝缘性能、延长寿命方面的作用。为减少员工工作量、提高变压器的智能化水平等方面提供了有益的参考。

1 微水对变压器绝缘性能的影响

变压器的绝缘性能主要是靠变压器油和绝缘纸的共同作用。纯净干燥的变压器油极易吸潮。水在变压器油中有两种存在形式:悬浮状态和溶解状态。一般而言,变压器油中水分含量的增加,会使得绝缘油的击穿电压逐渐降低,从而影响绝缘油的绝缘特性。此外,由于绝缘纸的主要组成是纤维素,分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$,其中 n 为聚合度,表示纤维素是由多少个葡萄糖基构成,一般新绝缘纸的聚合度为1200~1800。干燥绝缘纸的强度主要取决于纤维的状况、强度及其化学键,绝缘性能稳定。由于纤维素分子结构中存在氢氧根,即羟基,而纤维素的无定形区,链分子中仅有部分羟基形成氢键,而其余均以游

离羟基存在。由于羟基是极性基团,易于吸附极性的水分子,在水份存在的情况下,极易与吸附的水分子形成氢键结合,因此绝缘纸和纸板的吸湿能力比变压器油大得多。与此同时,由于纤维素大分子的葡萄糖基以 β -苷键联结,使纤维素大分子对水解作用的稳定性降低,在酸或高温条件下与水作用时,可使苷键断裂,纤维素大分子链长度降低,从而使固体绝缘发生降解。因此纤维绝缘材料中所含水分越多,纤维素水解速度越快,即绝缘纸的老化速率越快,从而严重危及绝缘纸优异的绝缘性能,对变压器的绝缘系统造成致命的破坏^[10,11]。相关资料表明:含水量为 1% 的绝缘纸的老化速率是含水量为 0.1% 绝缘纸的 10 倍;在变压器运行温度下,含水量为 4% 的绝缘纸的老化速率是含水量为 0.5% 的绝缘纸的 20 倍;绝缘纸中水份含量每增加 0.5%,纤维素绝缘的寿命缩短为原来的一半。

此外,水是强极性液体,易向高场强区聚集,因此在变压器最危险的高场强区反而聚集了大量的水分,但其介电常数比油和纸高得多,所以当变压器负荷发生突变时,就极易形成极性通道,导致变压器发生故障的概率大大增加。另外,固体绝缘含水量增加,会增加损耗和漏电流,从而使变压器发热,运行温度升高,加速绝缘材料的老化,降低变压器使用寿命。

综上所述,水分是决定变压器油绝缘性能的重要因素,被认为是变压器油纸绝缘老化的“头号杀手”。因此如何检测和控制变压器油中水分含量是保证变压器安全运行,延长使用寿命的关键措施。

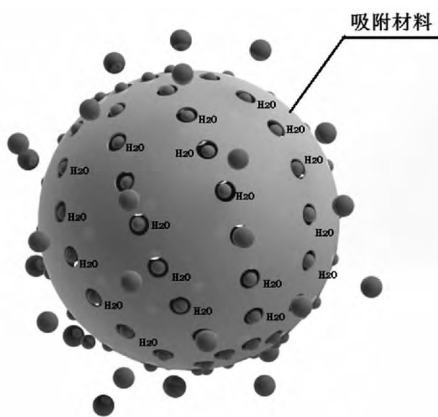


图 1 分子筛晶体微观结构

2 分子筛吸附的基本原理

分子筛是一种包含有精确和单一的微小孔洞的

材料,可用于吸附气体或液体,通常分子筛分子由铝硅酸盐矿组成。晶体具有蜂窝状的结构(如图 1 所示),晶体内的晶穴和孔道相互沟通,并且孔径大小均匀、固定,与通常分子的大小相当。只有那些直径比较小的分子才能通过孔道被分子筛吸附,而构型庞大的分子由于不能进入孔道,则不被分子筛吸附。特定的分子筛对水有较强的吸附能力,即使在很低的分压或温度下仍有相当高的吸附容量,一个分子筛能吸附高达其自身重量 22% 的水分。具有吸附容量高、吸附速度快、热稳定性好、操作循环稳定、与液体接触不碎裂等特性。

分子筛吸附小于它孔径的分子,通过选用合适的分子筛类型,除水以外的所有流体成分都可以不被吸附,免除了共吸附的问题。由于没有这种共吸附的作用,更加提高了吸水性能。同时,由于分子筛具有优良的再生特性,水合的分子筛在特定的条件下活化时迅速脱水,活化后的晶体又可以可逆地吸水,循环再利用。

3 变压器微水在线控制实例

为了保障老旧变压器的安全稳定运行,延长重负荷变压器的运行年限,国网泸州供电公司从美国引进基于分子筛吸附技术的变压器微水在线监测与控制系统,其工作原理如图 2 所示。

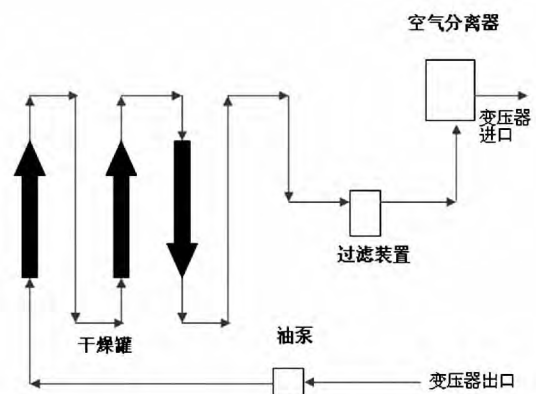


图 2 微水在线控制系统原理图

该系统由 3 个(根据需求)干燥罐组成,每个干燥罐中含有一种专门设计的高吸附性材料。当变压器油从干燥罐中流过的时候吸除其中的溶解水分,变压器绝缘材料中的水分随着油循环通过干燥罐时基本上被吸收;与此同时,由于该分子筛的孔径仅适合水分子通过,而气体分子由于体积大,则不会被吸

附。此外,这种高吸附性分子筛材料只有在温度加热到180℃的时候才有水分子释放出来,因此吸附性能稳定,且能循环利用。



图3 微水在线控制系统现场图

通过前期对1号主变压器的建模分析、设计和后期制造,2013年11月16日,成功安装在泸州220kV杨桥变电站1号主变压器(型号:SFPSZ8-120000/220,生产厂家:保定变压器厂,投运时间:1998年11月)上并顺利投运,如图3所示,截止到目前为止,该系统运行正常。

4 实验结果与分析

国网泸州供电公司试验人员对该系统进行了长期跟踪取样分析,试验结果如下。

4.1 微水含量分析

变压器油的微水含量分析结果如下(注:进口离线数据是指微水在线监测与处理装置的油样入口处的取样分析结果,反应了变压器本体微水的含量;出口离线数据是指在微水在线监测处理装置的油样出口处取样分析的离线测试数据,下同)。

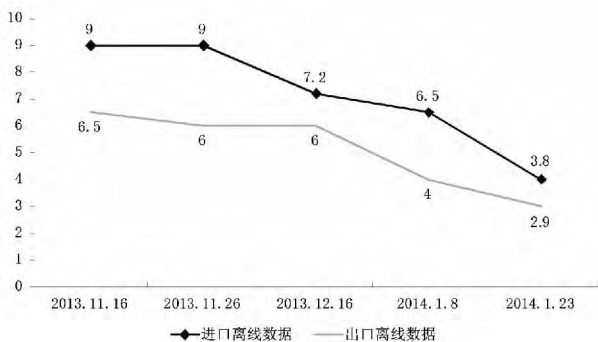


图4 1号变压器油微水含量趋势图(单位:mg/L)

从图4可以看出,该装置自投运以来,持续在线运行,截止到2014年1月23日,进口离线数据(变

压器本体油微水含量)从最初的9mg/L逐步下降至3.8mg/L。经过微水在线监测与处理系统处理过的微水含量从6.5mg/L持续下降至2.9mg/L,效果明显;同一时间段内微水处理系统进口与出口初微水含量差从2.5mg/L下降至0.9mg/L。根据以上数据可以判断,该变压器微水在线监测与处理系统确实可以缓慢滤除变压器油中的微水。进口和出口微水含量差在逐渐减小,说明该系统中的分子筛吸附剂还在起作用,吸附能力逐渐趋向饱和。

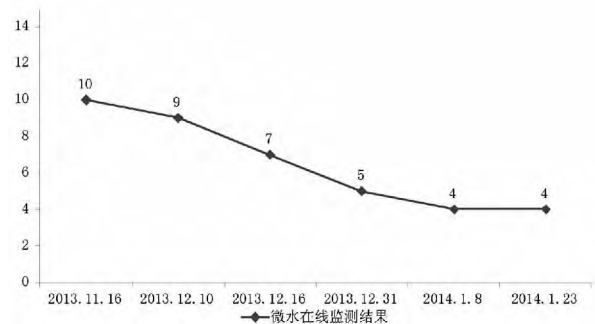


图5 1号变压器油微水含量趋势图(单位:mg/L)

从图5可以看出,微水在线数据表明,变压器本体微水从安装之日起的10mg/L,经过微水在线监测处理系统的处理,不到2个月的时间,微水含量下降到约4mg/L。与图4对比分析,可以看出离线测试数据与在线检测数据基本一致。

4.2 击穿电压结果分析

变压器油击穿电压取样分析结果如图6所示。

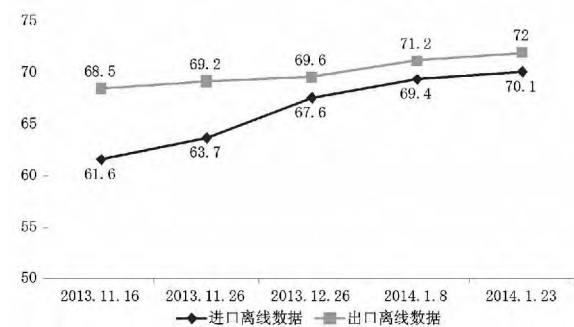


图6 1号变压器油击穿电压趋势图

(单位:kV,间隙距离:2.5mm)

从图6可以看出,微水在线监测与处理系统进口处变压器油的击穿电压(可代表本体油的击穿电压)从安装之日的61.6kV上升至70.1kV,提高了约8.5kV,效果明显,间接验证了微水含量的降低;而该系统出口处的击穿电压从68.5kV上升至72kV,呈缓慢上升趋势;进出口击穿电压逐渐趋于一致,也说明了分子筛吸附剂逐渐趋于饱和。

4.3 在线滤油系统对油色谱分析的影响

对变压器油中溶解性气体进行色谱分析,是发现变压器潜伏故障的有效手段。为了研究微水在线监测与处理系统对色谱分析的影响,试验人员进行了长期的跟踪对比分析,取样分析试验结果如图 7~12(单位: $\mu\text{L}/\text{L}$) 所示。

从变压器油色谱跟踪分析可以看出,通过对比测试发现甲烷含量约为 $20 \mu\text{L}/\text{L}$,乙烯含量约为 $0.7 \mu\text{L}/\text{L}$,乙烷约为 $4.3 \mu\text{L}/\text{L}$,乙炔约为 $0 \mu\text{L}/\text{L}$,氢气为 $3.0 \mu\text{L}/\text{L}$ 左右,总烃在 $25 \mu\text{L}/\text{L}$ 左右,各种成分

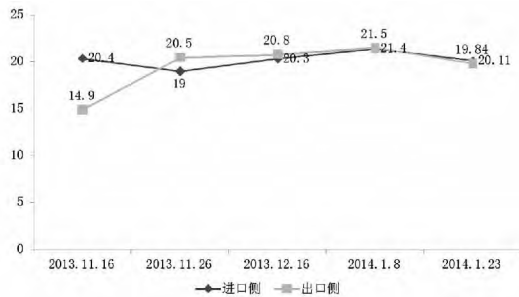


图 7 1号变压器油甲烷趋势图

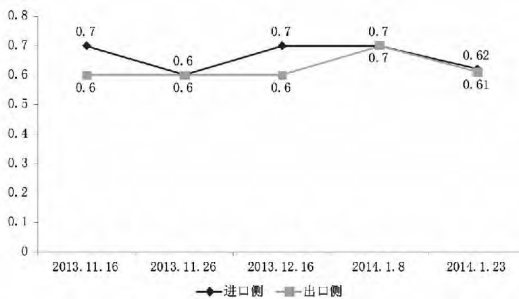


图 8 1号变压器油乙烯趋势图

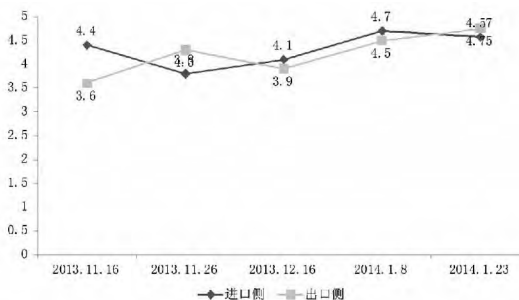


图 9 1号变压器油乙烷趋势图

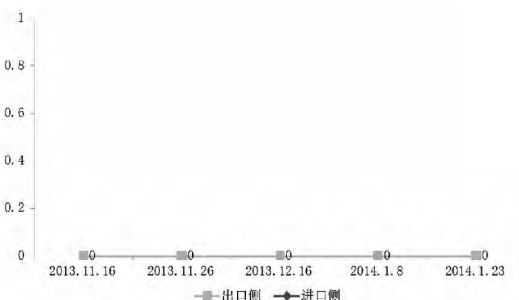


图 10 1号变压器油乙炔趋势图

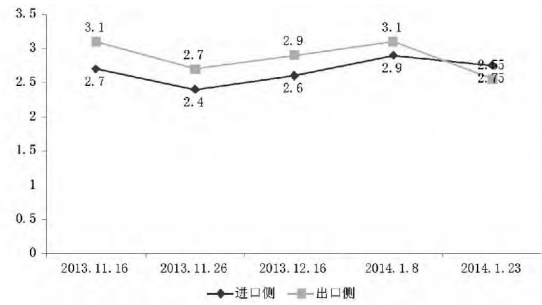


图 11 1号变压器油氢气趋势图

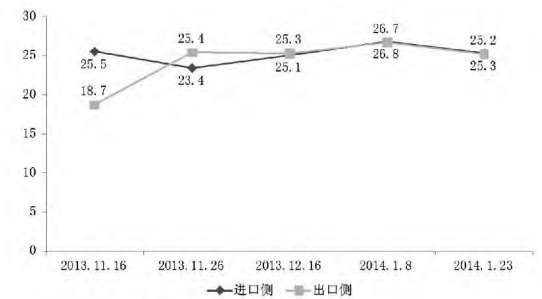


图 12 1号变压器油总烃趋势图

含量均比较稳定。且每一次进口和出口的测试值基本一致,因此可以认为该系统对色谱分析没有影响。

此外,其他试验数据也基本保持不变,具体试验结果如表 1 所示。

表 1 微水在线监测与处理系统投运前后部分试验结果对比

序号	试验项目	2013.11.16	2014.01.23
1	油中糠醛含量/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	<0.1	<0.1
2	酸值/ $(\text{mgKOH} \cdot \text{g}^{-1})$	0.001	0.001
4	水溶性酸(pH值)	5.9	6.1
5	介质损耗因素(90℃)/%	0.11	0.09
6	击穿电压/kV	61	62

5 结 论

从以分子筛吸附技术为核心的变压器微水在线监测与控制系统在 220 kV 杨桥变电变电站 1 号主变压器上的运行情况可以得到以下结论:(1) 使用特定的分子筛吸附剂可以有效地将运行变压器油中的微水含量控制在极低水平,使得变压器油击穿电压明显提高,大大减缓了绝缘纸的降解老化速度,起到延长变压器寿命的作用;(2) 使用该技术不会影响色谱分析等其他测试结果,表明该分子筛只吸附水分子,不会吸附其他气体和液体分子;(3) 该系统

(下转第 41 页)

和控制电容器投切,降低网络损耗,改善电压质量。

(4) 计算结果都是基于 A 地区现状电网计算得到,若适当增加电源点、缩短线路的供电半径和更换小截面导线,降损效果更佳。如线路 5 导线型号为 LGJ-50,若将其更换为 LGJ-95 的导线,损耗将在此基础上再减少 50%,而且电压质量也能得到进一步提高。

(5) 实际算例验证了无功电压规划优化对降损及提高电压质量的有效性。在不久的将来,随着配电网自动化控制的不断推进,通过在配电网全网实现无功电压控制,有利于进一步提高全网电压的合格率,降低电网的损耗。

参考文献

[1] DL/T 686-1999 电力网电能损耗计算导则[S].

[2] 林海雪. 现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5-12.

[3] 朱桂萍, 王树良. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(19): 28-31.

[4] 廖学琦. 农网线损计算分析与降损措施[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

[5] 盛万兴. 配电系统综合节能技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[6] 周强. 中低压线损计算方法与降损措施的研究[D]. 郑

州: 郑州大学, 2009.

[7] 吴强. 实际配电系统线损分析与降损措施研究[D]. 成都: 四川大学, 2004.

[8] 刘海峰. 配电变压器经济运行分析[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(5): 48-49.

[9] 郑琳. 配电变压器的经济运行[J]. 电力需求侧管理, 2006, 8(5): 61-62.

[10] 夏春燕. 变压器经济运行分析与应用[J]. 变压器, 2007, 44(12): 24-28.

[11] 江振生. 电力系统调压措施的合理选用[J]. 中国科技信息, 2006(2): 130.

[12] 许一星, 李越冰. 电网电压问题与调整措施[J]. 中国电力教育, 2009(139): 261-262.

[13] 来美英, 来运梅. 电力系统的调压措施[J]. 科技信息, 2006(9): 457.

[14] 赵俊光, 王主丁, 张宗盛, 等. 基于节点补偿容量动态上限的配电网无功规划优化混合算法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(23): 69-74.

[15] Q/GDW 462-2010 农网建设与改造技术导则[S].

作者简介:

张 迺(1987), 主要从事管理降损研究;
胡晓阳(1991), 硕士研究生, 主要从事配网降损与无功优化研究。

(收稿日期: 2013-12-24)

(上接第 9 页)

运行稳定可靠,减少了试验人员工作量,提高了供电可靠性和智能化水平,可在电力系统中推广。

参考文献

[1] 朱德恒, 谈克雄. 电绝缘诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

[2] 严璋. 油浸电力变压器固体绝缘老化的诊断及其应用[D]. 西安: 西安交通大学, 2003.

[3] 尚勇, 钱政, 杨敏中, 等. 高电压设备绝缘老化及状态维修的实现[J]. 高电压技术, 1999, 25(3): 40-42.

[4] 宋伟. 变压器绝缘老化与寿命评估[D]. 济南: 山东大学, 2005.

[5] 申翰林. 基于回复电压法的油浸式变压器状态检测关键技术的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

[6] 朱德恒, 严璋, 谈克雄. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[7] 王昌长, 李福琪, 高胜友. 电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[8] C. G 瓦修京斯基, 崔立君, 杜思田, 等译. 变压器的理论与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

[9] Schuert P J, Nevin J H. A Polyimide-based Capacitive Humidity Sensor[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 1985, 32(7): 1220-1223.

[10] 王洪亮, 周利军, 吴广宁. 不同含水量对油纸绝缘老化速率影响的研究[C]. 第十届全国工程电介质学术会议论文集, 2005.

[11] 刘敏. 不同含水量对油纸绝缘老化速率的影响[J]. 绝缘材料, 2008, 41(3): 40-42.

作者简介:

尧 广(1983), 工学硕士, 工程师, 研究方向为高电压与绝缘技术。

(收稿日期: 2013-11-04)