

应用于变压器在线监测的绝缘油净化技术

高 赫

(江苏省电力公司检修分公司,江苏连云港 222004)

摘 要:随着传感器、计算机和通信技术的发展,电力系统可靠性要求进一步提高,油绝缘变压器的维护由传统的以时间为基准的 TBM(Time Based Monitoring)方式发展为以状态为基准的 CBM(Condition Based Monitoring)方式。文中针对在线监测的技术特点,提出将真空脱气技术、分级杂质过滤技术和精确控制脱水技术综合应用,满足变压器油在线处理的实时性、高效性和安全性要求。同时文中提出的应用于在线监测的变压器油净化技术实现了模块化结构设计,并可以根据不同变压器的需求进行针对性的模块设计。

关键词:在线监测;净化技术;真空脱气;杂质过滤;脱水

中图分类号: TM406

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)02-0049-03

电力设备的状态监测大大降低了维修周期内的设备故障率,为设备状态检修提供依据并及时发现设备缺陷和异常征兆,确保设备安全运行,从而提高供电可靠性^[1]。传统的油绝缘变压器维护采用以时间为基准的 TBM(Time Based Monitoring)方式,按照预防性试验规程定期进行例行检查,既不能及时发现设备缺陷和潜在的故障风险,也浪费大量的人力财力,同时还影响电力系统为用户提供长期稳定电源的能力。因此依托在线监测技术的以实时状态为基准的 CBM(Condition Based Monitoring)维护方式成为电网检修发展的方向^[2]。目前对于油绝缘变压器的在线监测领域已经有较多成果,但是对绝缘油的净化处理较难满足在线监测系统的要求^[3,4]。

变压器油是变压器的重要组成部分之一,他的绝缘可靠性直接影响线圈、分接开关等关键部位能否正常工作,关系到整个电力系统的稳定性。系统内曾多次出现变压器因油质劣化问题造成变压器退出运行的案例^[5]。目前对变压器绝缘油的例行试验项目主要包括击穿电压、水分含量、介质损耗因数、酸值和油中含气量,以上检测项目主要在常规例行离线检测或者新投运交接检测时完成。随着电力变压器在线监测技术的不断发展,其装用量已达到一定的规模,在线监测装置的检测精度和稳定性显得尤为重要,也对绝缘油的净化技术提出了更高的要求^[6]。

1 在线监测中绝缘油净化技术原理

对于新投运变压器或对核心部件进行解体性检修后重新投运的变压器,需要对注入的变压器油进行净化处理,以达到去除油中水分、机械颗粒杂质、可燃性烃类和 CO、CO₂ 等杂质气体的目的,提高变压器油的耐压能力和绝缘强度。作为绝缘油在线监测装置的一项重要组成部分,需要满足在规定的时间内达到国家

标准规定的技术指标。根据不同的电压等级,及其对应的绝缘油技术指标,绝缘油净化系统需要能够提供不同的处理能力。

绝缘油净化技术中提高净化效率的关键在于油温和真空度,尤其对于 330 kV 及以上等级的变压器绝缘油,一般需要将含水量达到 ≤ 15 mg/L(注意值)、含气量达到 $\leq 3\%$ ($\leq 2\%$, 750 kV)、颗粒杂质半径 $1 \mu\text{m}$ 以下,此时需要对绝缘油进行深度脱水和脱气处理。适当提高油温可以降低油黏度,提高杂质被净化剂吸收的速度,从而增加净化效率,但是油温过高会导致绝缘油自然老化加快,且油中掺杂的抗氧化剂损耗加剧,降低油的品质。因此净化过程中应该将油温控制在 $50 \sim 60$ °C,最高不可超过 80 °C。真空度的提高一般通过多级真空泵级联的形式来实现,利用绝缘油饱和蒸汽压远低于溶解气体的特性进行净化,因此需要增大绝缘油的表面积,提高气体逸出效率,同时要及时地排除分离出的杂质气体,保证真空分离室的工作环境。另外,为了满足在线监测的实时性需求,需要在过滤油路的前端增加绝缘油质量检测模块,根据检测结果实现对各净化子模块的实时控制。

综上所述,对绝缘油的净化处理包括在线监测模块以及真空脱气模块、分级杂质过滤模块和精确控制脱水模块,各功能模块通过在线监测模块获取的油品数据进行相应的控制。

2 结构设计

在线监测模块的关键技术是保证检测数据的实时性和准确性,因此常规的油色谱分析无法满足要求,油品的测试通过检测水分含量和耐压强度来进行。从结构上来说,为了防止超过 $30 \mu\text{m}$ 以上的机械颗粒杂质干扰在线监测的稳定运行,将分级杂质过滤模块中的第一级粗过滤器设置在进油口到在线监测装置之间。同时,根据不同的变压器油流速差异,进油口设置进油

流量调节阀, 选择合理的进油速度达到优化净化处理效率的目的。某些低电压等级变压器对净化能力要求不高, 无须使用高真空的分离室脱气, 而选用高分子复合滤芯同时滤除水分和杂质颗粒, 这种情况下在线监测模块将取消真空脱气模块, 直接将粗过滤后完成油品检测的绝缘油直接送入分级杂质过滤模块中。在线监测模块的结构设计如图 1 所示。

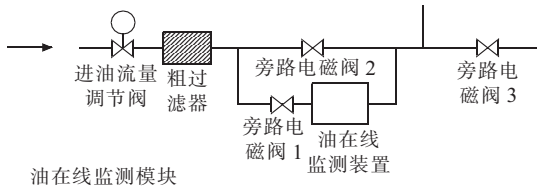


图 1 在线监测模块的结构设计

绝缘油经过粗过滤器后已经去除大颗粒和金属屑, 再经过红外加热器加热到合适的温度, 进入真空分离室, 在喷淋装置转化下分散成雾状, 并且在分离室沿着蜂巢形结构形成很薄的油膜向下流动, 从而产生较大的挥发面积和滞留时间, 使水分与杂质气体充分的逸出。实现净化后的绝缘油通过油泵进入分级过滤模块, 水分与杂质气体通过排气装置排出。真空脱气模块的流程框图如图 2 所示。

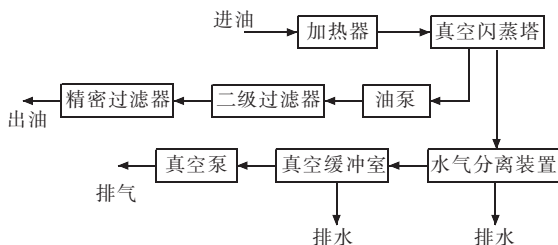


图 2 真空脱气模块的流程框图

真空脱气模块主要应用于较高电压等级的变压器绝缘油净化处理, 为了达到高效分离杂质气体的目的, 需要满足以下条件: 良好的真空提升能力, 使用三级真空泵组成的级联结构, 迅速将真空分离室抽到较高真空度; 带温度监控的自动加热装置, 保证油路循环到真空分离室时能达到合适的工作温度; 高效率的排气排水装置, 将净化过程中分离出的水分和杂质气体迅速排出净化系统, 适应长期不间断的在线运行要求。

为实现以上功能, 当绝缘油通过在线监测模块后, 首先接入红外加热装置, 根据不同的流速计算相应的加热功率, 利用温度控制仪控制加热器功率保证温度在 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。加热后的绝缘油经过雾化喷淋装置送入真空分离室, 在蜂巢形结构的闪蒸塔充分滞留分离气体杂质, 净化后的油液从底部经过冷却送入分级过滤模块中。挥发出的气体杂质和水蒸汽的混合物首先通过水气分离装置将主要的水分冷凝成液态排出, 再通过多级级联的真空泵组抽出气体成分, 保证真空分离室足够的真空度。真空脱气模块结构图如图 3 所示。

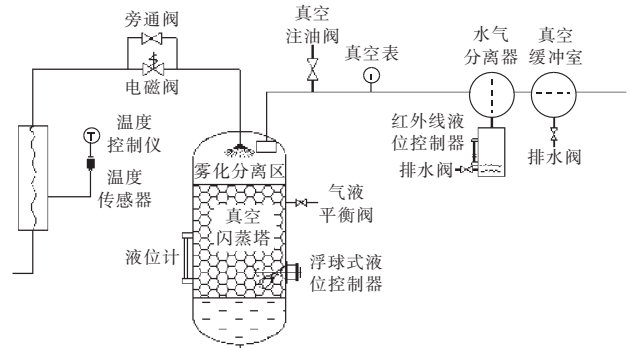


图 3 真空脱气模块结构图

分级过滤模块的第一级需要过滤大于 $30\text{ }\mu\text{m}$ 的机械杂质, 包括因碰撞脱落的大颗粒物以及维修或者运行磨损过程中产生的金属碎屑等, 设置于进油口和在线监测装置之间。第二级过滤装置需根据不同的电压等级和净化需求而定。当电压等级较低, 例如 110 kV 以下的变压器, 一般只需杂质颗粒不超过 $20\text{ }\mu\text{m}$ 即可, 此时采用简化的分级过滤设计, 将第二级杂质过滤合并到脱水模块中, 形成过滤、脱水复合过滤器, 以水含量满足要求为标准, 将绝缘油处理合格后回送到变压器中。此时分级过滤模块及脱水模块如图 4 所示。

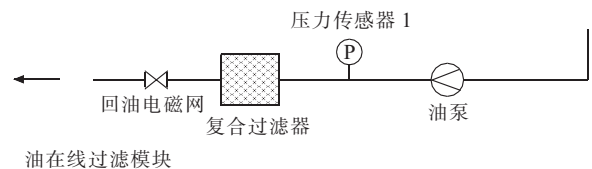


图 4 低净化需求下的分级过滤模块以及脱水模块

对于高净化等级的分级过滤模块, 需要在脱气完成后进行两级过滤, 第二级过滤器去除 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上的固体杂质, 再通过第三级精密过滤器将杂质水平降低到 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下。其中, 第二级过滤器不仅实现前级过滤功能, 同时对精密过滤器起到保护作用。过滤后的油样通过取样口连接到在线监测模块实现油品监控, 并送入精确脱水模块。高净化等级的分级过滤模块如图 5 所示。

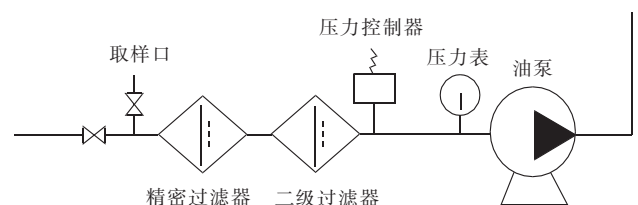


图 5 高净化等级的分级过滤模块

精确脱水模块一般在高净化等级的情况下有较高的实用价值。因高电压等级下绝缘油中水含量要求较高, 超过 $0.01\text{ }\%$ 会导致绝缘油的耐电强度下降, 变压器中会产生放电现象, 而过于干燥条件下会导致变压器绕组中夹件的夹紧力减小, 在雷击或者开关动作时变

压器经受机械或电动冲击力作用下, 变压器绕组易产生变形。而且过分干燥也会影响绝缘油添加剂和抗氧化剂的性能, 导致变压器油老化速率升高, 因此, 一般 500 kV 以上变压器的水分含量不宜低于 5 mg/L。

基于上述需求, 精确脱水模块在传统的脱水技术基础上, 通过内置式微水检测仪实时测定绝缘油中水含量, 将该数据引入在线监测模块中, 通过软件来控制脱水模块的工作状态, 当微水含量介于 5 ~ 10 mg/L 时停止脱水模块的运行。

3 结束语

(1) 整个技术方案为模块化设计, 可根据实际需要进行组件选择, 可满足不同油质、不同电压等级、不同净化需求的变压器进行最优组合, 以合理的成本高效地完成绝缘油净化。

(2) 所有模块的油品质检测和油净化处理都具有实时性, 能够满足在线监测系统的要求。

(3) 真空脱气模块采用级联真空泵, 能够满足高真空度的需求, 达到高电压等级变压器的绝缘油净化标准, 而且高真空度有助于最短时间实现油气分离, 降低净化系统的运行时间, 提高利用效率。

(4) 通过油中水含量检测精确控制干燥的强度, 避免由于过度净化影响绝缘油的使用寿命。

综上所述, 应用于在线监测的绝缘油净化技术能够很好地满足当前基于在线监测的检修系统需求, 在降低成本的基础上提高油处理的效率, 产生巨大的经济效益。

参考文献:

- [1] 金逸, 刘伟, 查显光, 等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 12-15.
- [2] 周龙. 变压器状态检修的研究[D]. 贵阳: 贵州大学工程硕士学位论文, 2006.
- [3] 贾瑞君. 关于变压器油中溶解气体在线监测的综述[J]. 变压器, 2002, 39(S1): 39-45.
- [4] 杨启平, 薛五德, 蓝之达. 变压器油中溶解气体在线监测技术的研究[J]. 变压器, 2005, 42(3): 39-43.
- [5] 陈伟. 变压器油质劣化问题分析及处理[J]. 江苏电机工程, 2003, 22(2): 39-40.
- [6] 边耀维. 运行电器设备绝缘油带电处理[J]. 电网技术, 1994, 18(1): 41-43.

作者简介:

高赫(1981), 男, 吉林松原人, 工程师, 从事高压开关、线圈类设备的运行维护及状态监测工作。

The Insulating Oil Purifying Technology Applied in Online Monitoring

GAO He

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Lianyungang 222004, China)

Abstract: With the development of sensor, computer and communication technology and the higher requirement of power system reliability, the maintenance of oil insulation transformer has been improved from Time Based Monitoring (TBM) into Condition Based Monitoring (CBM). According to the technical characteristics of online monitoring, a new method with comprehensive application of vacuum degassing, classified impurity filtration and accurate control dehydration is introduced to satisfy the requirement of real-time, high efficiency and safety of the oil online processing. At the same time, modular design has been realized with the proposed technique and pertinence modular designs can be implemented for different transformers.

Key words: online monitoring; purifying technology; vacuum degassing; impurity filtration; dehydration

(上接第 48 页)

Analysis of Suzhou's First 220 kV Smart Substation

SHEN Fubao, WANG Zhongqiu

(Suzhou Department of Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Suzhou 215131, China)

Abstract: Taking the first 220 kV Suzhou smart substation - "Luzhi" substation as an example, this paper introduces the architecture of smart substation. The functions, devices and sequence controls of smart substation are also analyzed. Based on the analysis, advanced application functions of smart substation are studied. In addition, suggestions for the maintenance of relaying plate and switches are provided. This research is of certain reference significance for stable operation of smart substation.

Key words: smart substation; technical characteristics; run