

大型变压器储油柜常见故障及原因分析

肖健
(国网四川省电力公司检修公司 四川 成都 610041)

摘要: 储油柜作为变压器油保护装置对大型变压器安全稳定运行起着重要作用, 本文介绍了大型变压器储油柜的结构、原理和技术要求, 并对产品运行过程中常见的故障及其原因进行分析研究。
关键词: 储油柜; 假油位; 胶囊; 呼吸器; 安装工艺

0 引言

大型变压器在电网系统中起着电能传输分配的作用, 对于油浸式电力变压器来说, 储油柜作为适应油箱内变压器油体积变化而设置的保护组部件, 对变压器正常稳定运行作用重大。当储油柜发生异常时, 将影响变压器的运行状态, 易造成严重的后果。

1 储油柜概述

储油柜作为变压器的油保护装置, 当变压器油体积随油温升降而膨胀或缩小时起着储油和补油的作用, 同时能够减少变压器油与空气的接触面, 减缓油的裂化速度。储油柜按是否与大气相通分为敞开式和密封式储油柜, 其中密封式按密封体结构又可分为胶囊式、隔膜式、金属波纹式(内油式、外油式), 按照安装位置可分为本体储油柜、有载分接开关储油柜等。

胶囊式储油柜是在储油柜金属外壳内部安装耐油的胶囊袋, 通过胶囊将变压器本体内绝缘油与外界空气隔离开。当变压器油膨胀或收缩时会导致储油柜油面上升或下降, 胶囊会向外排气或自行吸气, 胶囊这种平衡内外侧压力差的调节过程称为呼吸作用。通常胶囊悬挂在储油柜上部的定位挂钩上, 通过旁通联管及阀门与储油柜内部连通。储油柜一端留有人孔, 满足人员进入储油柜内部进行检查清洗及维修的需求。储油柜油位计一般采用浮球磁铁指针式, 当油位达到设定的最高或最低位置时, 油位表通过报警开关发出报警信号。有载分接开关储油柜通常采用开放式结构, 通过呼吸管、呼吸器与外界空气相连, 有载分接开关储油柜可与本体储油柜共用同一基础, 也可分开设置, 有载分接开关储油柜油位应低于本体储油柜, 防止有载分接开关油室泄漏串入变压器本体。

隔膜式储油柜将隔膜安装在储油柜上下柜体之间, 隔膜周边压装在上下柜沿之间, 内侧紧贴在油面, 外侧和大气相通。由于隔膜结构容易被破坏, 密封性难以保证, 现场运行发生渗漏油或变压器油位较低时引起负压使得故障率较高, 这种结构形式在系统中逐渐被淘汰。

金属波纹式储油柜可分为内油式和外油式, 内油式金属波纹膨胀储油柜采用跑道型不锈钢波纹膨胀体作为容积补偿, 膨胀体通过输油管路与变压器本体相连。外油式金属波纹膨胀储油柜由传统油囊式储油柜演变而来, 将经特殊工艺制作成型的波纹管芯体作为容积补偿和隔离密封的

部件。波纹管芯体内部为空气, 通过联管和呼吸器与外界大气相通, 芯体外部是变压器油, 通过储油柜柜体下部联管与变压器油箱相通。内油式和外油式金属波纹储油柜在变压器油温度变化时, 变压器油的体积会进行变化, 此时芯体容积也会随之发生变化, 从而实现变压器油的体积补偿。

变压器储油柜容积应保证在最高环境温度与允许的过负载状态下油位不超过上限, 在最低环境温度与变压器未投入运行时应能观察到油位指示, 储油柜容量计算公式为 $V = (f \times G) / g$ 。

上式中, V: 储油柜的容积, L;
f: 变压器油体积补偿参数 $f = a \times (\Delta t + t)$,
其中, a: 变压器油体积膨胀系数 (0.0007-0.0008),
 Δt : 变压器使用地区最高和最低环境温度差值,
t: 变压器平均温升 (由厂家提供);
G: 变压器总油重, kg;
g: 变压器油的密度 (0.8-0.9), kg/L。

变压器储油柜的容积应不小于本体油量的 10%, 如果容积设计过大或偏小, 在遇到极端气候条件时可能导致变压器发生少油或多油的情况。

2 储油柜主要组部件技术要求

柜体: 储油柜的一端应具有油位显示功能; 应有注油、放油、放气和排污装置; 一般应装有带有油封的吸湿器; 变压器整体 (包括瓦斯等所有充油附件) 应能承受 133Pa 的真空度。

胶囊: 用耐油橡胶制作, 将油与空气隔离, 防止空气中的氧和水分的浸入, 防油老化, 延长油的使用寿命。同时运行中随油温变化补偿体积变化; 结合大修或停电检查, 超过 15 年的胶囊应更换。

油位计: 分为磁翻板式、侧装管式、顶装管式、采用浮球传动的指针式、采用伸缩杆传动的指针式。油位计应能直观、清晰地显示运行中变压器的油位变化; 除管式外的油位计应能承受 0.2MPa 的气压试验; 除侧装管式以外的油位计应能承受不大于 65Pa 的真空度; 指针式油位计的传动及转动部位应灵活, 无卡滞现象, 指示位置正确, 指针在度盘上指示的位置与储油柜内实际油位相符, 其重复指示误差不应超过度盘刻度全量程的 $\pm 2.5\%$, 在油位升高到最高或降低到最低油位时应能可靠地发出报警信号。

吸湿器：变压器所用的一种空气过滤装置，内装吸湿剂以吸去进入其中的空气中的水分，按壳体材料分为玻璃壳体、玻璃壳体加不锈钢护罩、金属壳体和自动烘干式吸湿器。实际选用中，稀释剂的重量不应多于变压器储油柜油重的千分之一。吸湿剂应采用无钴变色硅胶，应采用球状颗粒，直径3mm～5mm，应能承受0.05MPa的气压试验；通气阻力应不大于0.005Mpa。

气体继电器：继电器管路轴线应与变压器箱盖平行，允许通往储油柜的一端稍高，但其轴线与水平面的倾斜度不超过4%；装配完毕的继电器在充满变压器油时，应能承受200kPa压力试验并无渗漏；继电器在振动频率为4Hz～20Hz（正弦波）、加速度为40m/s²时，气体信号接点和油流速信号接点不应动作。

3 常见故障及原因分析

由于储油柜常见故障的产生原因与设备结构存在密切的关联性，此处针对胶囊式储油柜、浮球磁铁指针式油位计进行分析研究。

3.1 假油位问题

假油位指变压器本体无故障、无渗漏条件下油位计指示异常情况。当储油柜采用浮球磁铁指针式油位计时，油位计指示是通过“指针、磁耦合、连杆传动齿轮、连杆、浮球”机械传动链条传递显示出来的，运行中可能会出现油位计指示不随油温变化、异常降低或至最低报警、异常升高或至最高报警的情况，此时油位计指示不能反应变压器的实际油位。

假低油位情况：内在原因是油位计的“指针、磁耦合、连杆传动齿轮、连杆、浮球”机械传动链条中某一部件或几个部件卡涩或故障。外在原因是外力迫使油位计浮球向低油位方向运动，胶囊破裂进油后胶囊底部在油中漂浮或下沉压迫油位计。同时也存在内外因共同作用造成假低油位的情况。

假高油位情况：内在原因是油位计指示的机械传动链条中某部件卡涩或故障。外在原因是外力迫使油位计浮球或连杆上行，浮球与胶囊皱褶缠绕引起连杆弯曲变形、储油柜进气后集聚在胶囊下方使胶囊底面呈凹状会造成假高油位的情况。

油位不随油温变化情况：内在原因是油位计指示的机械传动链条中某一部件故障导致实际油位状态不能正确传给油位计指针，如指针、磁耦合、连杆传动齿轮失灵或连杆断裂等故障。油位不随油温变化的情况较少由外力造成。

油位是一个动态变化量，在进行假油位分析时必须结合实际情况通过横向纵向比对、油色谱分析、电气量分析等方法综合判断，现场不具备停电条件时还需采取红外检测等手段判断储油柜的实际油位，在分析完成后制定处理方案时要防止缺陷扩大。

3.2 胶囊问题

变压器在安装运行过程中，胶囊破裂会漏油，破损后不易被发现。胶囊破裂会导致变压器油受潮，影响设备内

部绝缘，同时破损胶囊可能堵塞储油柜至本体的油路，引起气体继电器轻瓦斯或重瓦斯报警。

胶囊损坏的原因分为内在原因和外在原因。内在原因是胶囊制造材料较差或工艺质量不达标，造成胶囊薄弱位置在长时间运行后损伤破裂。由于橡胶材料本身材质易老化，在长时间运行后需定期更换。根据《国家电网公司十八项重大反事故措施》要求，胶囊式储油柜运行年限超过15年必须更换。外在原因分外物损坏和工艺不良损坏，外物损坏为胶囊随本体变压器油呼吸时多次上下运动，易被下方油位传感器尖端棱角或储油柜柜体内壁毛刺类尖凸物损伤破坏。工艺不良损坏主要原因是储油柜排气方法不当或储油柜抽真空操作不当，在进行储油柜补油操作时如果注油和放气速度配合不当，出现油速度过快超过放气塞的放气速度会造成胶囊内部压力过大；抽真空时未打开胶囊与储油柜间旁通阀也会造成胶囊受力过大造成胶囊破损。

3.3 呼吸器问题

变压器呼吸异常是指在变压器正常运行时，吸湿器及其联管在呼吸过程中通气阻力过小或过大甚至不通气的情况。变压器油温变化时胶囊内部气体体积会随之变化，在密封空间内体积的变化会转变为气压的变化，该气压变化通过联管传递给吸湿器，吸湿器根据气压增减会排出或吸入外界空气。当吸湿器阻塞、气路堵塞或气路密封不良时会影响吸湿器的正常运作。

吸湿器堵塞：硅胶颗粒太小、长时间震动后粉化会增大通气阻力，油封油位过高被吸入呼吸器内、油封油位过低硅胶受潮后遇极端寒冷天气结冰会增大通气阻力甚至完全阻断吸湿器呼吸。

气路密封不良：吸湿器密封不良或吸湿器与联管间法兰面密封不良时会导致胶囊会直接与大气相通，进入胶囊的空气缺乏吸湿器硅胶的过滤会加快胶囊的老化，使吸湿器的保护功能失去作用。

气路堵塞：胶囊与吸湿器间的管道有异物或锈蚀严重、阀门未完全开启、胶囊因进气形成蘑菇状堵塞等会增加气路的通气阻力，造成气路的部分甚至完全阻塞。

3.4 安装工艺问题

储油柜作为油保护装置能在一定范围内反映变压器油的状态，在变压器安装时若工艺控制措施不当会造成储油柜及其组部件的损伤。变压器在抽真空及真空注油时采用平衡胶囊内外压力方法，打开胶囊与储油柜的旁通阀门使其联通。储油柜补油时注意注油和排气工作的配合，打开储油柜上部排气塞，从注油管将变压器油注入储油柜内直至排气塞出油，再关闭注油管和排气塞。热油循环时检查吸湿器呼吸状况是否正常，如果气路阻塞可能会导致压力释放阀等保护装置动作。

4 结语

储油柜对于变压器的安全稳定运行作用重大，本文介

（下转第75页）

裂缝缺陷位置在带压密封安全注剂压力影响下的失效状态进行分析发现：当保持其他实验条件相同时，等效应力会随着环向裂缝缺陷长度的增大而减小，向密封管道进行注剂承受的压力也随之下降。出现此种情况是因为裂缝缺陷长度越高，管道内压强越小，管内空间的承压能力越弱，失效压力越低，对应的最大等效应力和注剂操作中需要施加的外力也随之降低。

管径大小对管道等消应力产生的影响。构建管壁厚度为7mm，裂缝长度分别为15mm和20mm，管道内部压力强度为1.6MPa的有限元模型，管径长度分别设为219、273、325、377、426（mm），模拟不同管径长度下裂缝缺陷管道在带压密封助剂过程失效状态下，等效应力的变化规律。

在裂缝长度一致（15mm），管径长度分别为219mm和426mm时，管道中产生的等效应力变化趋势基本一致，具体见图2所示。变化趋势图中显示：当其他试验条件相同的情况下，随着管径长度的增加，管道中产生的最大等效应力会在达到一个低谷后上升。出现这种现象主要是因为管道曲率会随着管径的增大而减小，当裂缝缺陷长度一致时，缺陷的轴向应力会随着曲率的减小而增大，而含有裂缝缺陷的管道产生的等效应力不断降低。另外，Folias 膨胀系数会随管径的增加而降低，管道失效压力变大，使管道承受的最大等效应力升高。随着管道直径不断加大，管道内等效应力在上述两种因素的作用下，呈现先降低后升高的变化趋势。

4 实验总结

通过 ANSYS 软件建立带有环向裂缝缺陷金属管道三维立体模型，并以模型为依据对带压密封安全注剂操作过程中不同条件影响下的运行压力变化情况进行研究和记录，发现实验数据和计算结果的差异并不明显，表明本文采用的模拟实验方式具有良好的可行性，实验结果可作为准确数据供相关人员参考。

通过对有限元模型进行不同的模拟操作发现：在其他条件保持一致的情况下，当管道裂缝缺陷长度不断增加，安全注剂压力会呈现先增加后降低的变化趋势；当管道直径不

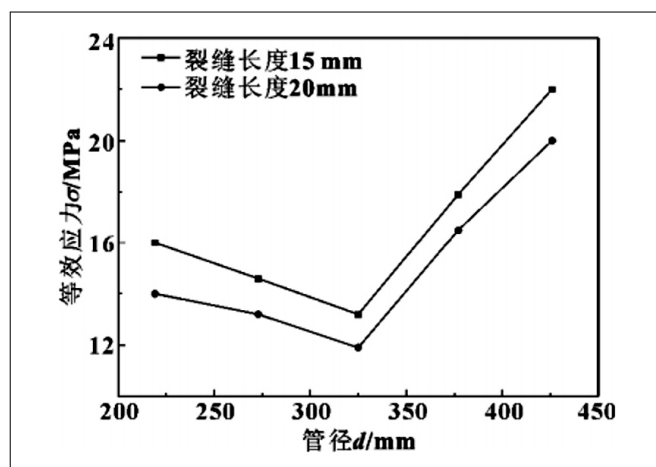


图2 管道等效应力在管径变化影响下的变化趋势

断增大，安全注剂压力会先增加，在达到一定峰值后随之下降。当持续提高管道压力时，安全注剂压力会始终呈现增加的变化趋势。

5 结语

现代社会中，石油资源供应的稳定性会对社会各行业的发展水平都产生不同程度的影响，石油炼化企业装置的正常运行对国家建设具有基础性的支撑作用。但是石油化工装置在经过长时间运行及多种因素的影响下，输油管道中可能出现不同深度的环向裂缝，影响石油资源的正常输送。通过模拟实验的方式，分析不同因素对带压密封助剂压力的影响效果，为石油企业应用助剂式带压密封技术提供应用思路，提高石油化工装置的正常运行，优化石油炼化质量，使石油炼化过程安全性更高。

参考文献：

- [1] 王玉龙, 蒋华义, 费新玲等. 环向裂缝缺陷管道带压密封的安全注剂压力影响因素分析[J]. 润滑与密封, 2019(04):120-125.
- [2] 高晋文, 叶严军, 于卓琦, 段星辉等. 含有裂纹缺陷的GIS盆式绝缘子的静力特性及其影响因素分析[J]. 高压电器, 2020, v.56; No.381(12):256-261.

（上接第73页）

绍了储油柜常见的分类及各组部件的技术要求，对变压器运行过程中储油柜常见故障及其原因进行分析研究，从根本上说明储油柜故障的生成机理，对储油柜的故障排查和检修维护具有较强的指导意义。

参考文献：

- [1] 国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施[M]. 北京：2018 修订版, 66.

- [2] GB/T 6451-2015 油浸式电力变压器技术参数和要求[S].
- [3] 国家电网公司二十一项直流反事故措施及释义[M]. 北京：2021, 18.
- [4] JBT 10692-2007 变压器用油位计[S].
- [5] DLT 1386-2014 电力变压器用吸湿器选用导则[S].
- [6] JBT 9647-2014 气体继电器[S].