

变压器检修维护中常见故障分析及处理

牟金祥

云南华电金沙江中游水电开发有限公司阿海发电分公司, 云南 丽江 674000

[摘要] 变压器是电力系统里极为关键的一种设备, 它的运行状况和供电系统的稳定性以及安全性紧密相关联。如今电网结构变得越来越复杂, 在这样的情况下, 变压器于长期的运行进程当中就很容易出现各种各样的故障情况, 像是发出异常的声音、出现跳闸现象、发生渗漏油问题、油温不断升高以及存在局部放电等等方面的问题。文章从变压器在检修维护过程里面经常会碰到的那些故障类型着手, 同时结合当下主流的一些故障识别技术, 像专家系统、神经网络还有模糊推理法等等, 来对故障的处理策略展开较为细致的探讨, 希望能给变压器设备的安全运行以及维护管理工作给予一定的理论方面的支撑以及实践层面的指引。

[关键词] 变压器; 检修维护; 故障识别

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16493

中图分类号: TM41

文献标识码: A

Analysis and Handling of Common Faults in Transformer Maintenance and Repair

MU Jinxiang

Ahai Power Generation Branch of Yunnan Huadian Jinsha River Midstream Hydropower Development Co., Ltd., Lijiang, Yunnan, 674000, China

Abstract: Transformers are extremely critical equipment in the power system, and their operating conditions are closely related to the stability and safety of the power supply system. Nowadays, the structure of the power grid is becoming increasingly complex. In such a situation, transformers are prone to various faults during long-term operation, such as abnormal sounds, tripping, oil leakage, continuous rise in oil temperature, and the existence of partial discharge. The article starts with the types of faults that transformers often encounter during maintenance and repair, and combines some mainstream fault recognition technologies such as expert systems, neural networks, and fuzzy reasoning to explore in detail the strategies for handling faults, so as to provide theoretical support and practical guidance for the safe operation and maintenance management of transformer equipment.

Keywords: transformer; maintenance and repair; fault identification

变压器是电力系统中较为常见的设备, 其在应用过程中容易发生故障, 应采用定期检修的方式, 执行常见故障分析操作, 以保证变压器在使用过程中不会出现问题。它是通过线圈、铁芯组合而成, 其中的铁芯材料主要是硅钢片, 其线圈中主要是环氧树脂, 具有不可燃性及绝缘性。所以, 变压器在使用过程中不会发生渗漏的问题, 但即便如此, 若变压器长期不进行维修, 也会发生故障, 因为内部零件出现问题, 使电力系统无法顺利运行, 所以需要定期对变压器进行检修及维护, 合理应用变压器的故障处理技术。

1 变压器检修维护中的常见故障

1.1 声音异常问题

声音异常问题若变压器在运行过程中, 出现机械构件均匀的响动是正常的, 但若其声音呈现出不均匀的变化情况, 或者存在异常响动问题, 需要对其进行检查。究其原因, 可能是因为变压器的实际负荷增加, 所以, 使变压器的负荷量呈现出不稳定的变化, 引发故障。

1.2 跳闸问题

跳闸问题变压器的常见故障为跳闸。其原因在于, 员工的操作方式不正确, 或是变压器内部存在故障, 导致变压器发生跳闸的问题。

1.3 渗漏油问题

变压器油具有绝缘和冷却得作用, 油箱密封不良或者是橡胶密封件老化都会引起油液渗漏, 进而导致绝缘性变差, 更有甚者还会引发火灾。变压器油得渗漏部位通常是焊缝、法兰接口及油枕接缝等部位。

1.4 油温异常问题

变压器运行中的油温异常升高大多是因为过载运行、冷却系统出错或是内部短路等。油温持续偏高会造成加速油老化, 也会导致绕组绝缘层热击穿事故的发生。时时监控油温的变化并结合负载数据, 可以以此判断温升是否异常。

1.5 放电问题

局部放电是变压器绝缘老化的早期信号, 局部放电主要是发生在绕组之间、套管或是引线端部等位置。主要表现为异常电磁波发射、臭氧气味或者是局部温度升高等异常。

2 变压器故障的识别方法

2.1 采用专家系统识别故障

专家系统依靠知识库以及推理机来构建其核心架构, 它可把资深工程师所掌握的经验规则以形式化的手段予以存储。当系统处于运行状态之时, 其能够针对输入进来的多源数据展开匹配方面的操作以及推理层面的工作。就

变压器故障诊断来讲,专家系统会先去采集像电压出现突变、绕组电流呈现出平衡状况、油中溶解气体分析等相关的关键参数。而后借助前端采集模块把这些数据加以标准化处理,再依次同知识库里面所存在的“若-则”规则进行比照,最终输出有可能会出现的故障类型以及相应的建议处理方案^[1]。这种方法有自身的优势,比如说响应速度比较快、规则较为透明且方便开展维护工作等等,不过也存在着一定的缺点,就好比面对突发性的新型故障或者规则库没有涵盖到的问题情况,就极有可能会误诊或者是漏诊这样的状况。所以在实际的应用过程当中,需要定期去组织相关专家针对规则库实施更新以及补充的操作,并且要对系统的推理结果进行人工方面的复核,以此来确保故障识别能够具备准确性以及可靠性。

2.2 采用神经网络识别故障

神经网络方法运用深度学习模型来对大量的历史运行数据加以训练,进而达成对复杂非线性故障模式的自适应识别这一目的。其中常用的网络结构有像多层感知器、卷积神经网络以及循环神经网络这类等。把油中气体溶解度、负荷波动频率还有温升曲线等这些特征当作输入,经过归一化处理以及特征工程方面的处理之后,再把这些处理后的数据馈入到网络模型里面去开展迭代训练。在整个训练的过程当中,依靠反向传播和梯度下降算法来自动地对权重做出调整,以此来实现最优的分类边界。这种方法可以挖掘出隐藏在多维数据里面的那种复杂的关联,进而提升对于微弱故障信号所具备的敏感度。不过它的训练过程对于数据的质量以及样本的平衡性都有着比较高的要求,并且模型往往会呈现出一种“黑箱”的状态,其可解释性是比较差的,这就需要和可视化分析或者模型剪枝技术相互配合起来,以此来提升诊断结果所具有的可理解的程度。

2.3 采用模糊推理识别故障

模糊推理系统借助模糊集合以及隶属函数,把持续变化着的变压器运行参数转化为“高”“中”“低”这类语言变量,进而把不确定性融入到诊断流程当中。具体来讲,可以针对油温、噪声水平、局部放电幅值等各项指标各自去定义隶属度函数,并且依照专家经验或者统计规律来构建模糊规则库,例如“倘若油温属于高并且噪声属于中,那么疑似存在散热不良的情况”^[2]。经过模糊化、规则推理还有去模糊化这三个步骤,能够输出故障概率值并且提出相应的处理措施方面的建议。这种方法对于参数波动具备较强的容忍程度,适合在难以精准建模或者数据噪声比较大的情形下使用;不过模糊规则的构建以及优化会耗费大量的人工资源,与此同时去模糊化的方法有可能会对诊断精度产生影响,这就需要联合神经网络或者遗传算法来对隶属函数以及规则权重加以优化。

2.4 采用多元融合识别方法

多元融合识别方法把专家系统、神经网络还有模糊推理等技术有机地结合起来,综合它们各自的优点,弥补彼

此的不足,进而构建起混合智能诊断框架。其典型的流程是这样的:一开始借助专家系统来开展初步且迅速的筛查工作,借此把常规故障给排除掉;接着把剩下的那些疑难案例输入到神经网络模型当中去,对其展开深度挖掘,从而识别出复杂的非线性故障;最后针对神经网络得出的结果运用模糊推理加以校正,同时结合经验规则给出最终的故障概率以及相应的建议方案。部分相关研究还会引入支持向量机或者贝叶斯网络当作辅助分类器,以此来提高多类别故障识别时的稳定性。这种融合方法在一定程度上能够兼顾到快速性、准确性以及可解释性,不过在系统设计环节需要去解决各个模块之间数据接口方面的问题以及模型权重分配方面的问题,并且要依靠交叉验证以及在线学习机制,达成持续不断地自我优化以及迭代升级的目的。

3 变压器检修维护中常见故障的处理方法

3.1 异常声响的处理

当出现异常声响的情况时,第一步需要做的是立刻断开二次侧回路,同时还要实施停电防护方面的相关措施,以此来切实保障检修人员的人身安全。接下来要做的就是采用声波传感器或者超声波检测仪针对变压器的外壳以及油枕展开声学扫描的操作,从而精准地定位到异常声源的具体位置。要是铁芯螺栓出现松动的现象,那么可以借助扭矩扳手一项一项地去检查各个固定螺栓的紧固扭矩到底是不是符合设计方面的要求,倘若有必要的话,还得重新将其紧固一番,并且要加装防松垫圈,如此一来便能够有效防止出现二次松动的状况^[3]。而对于由绕组偏移所引发的振动问题,在拆除绕组罩壳之后,可以通过运用激光测距或者是使用千分表的方式来校核绕组的相对位置,进而把偏移量调整到 $\pm 0.5\text{ mm}$ 这样的范围之内。如果发现绝缘支柱或者套管出现了老化龟裂的情况,那就得及时地更换成聚四氟乙烯或者复合材料制成的绝缘套管,并且要对接触面给予细致的清洁处理,唯有如此才能确保电气间隙能够满足标准所提出的要求。当声响是源自铁芯部分由于电磁谐振而产生的高频啸叫这种声音的时候,可以在铁芯的四周加装环氧树脂阻尼件或者直接注入阻尼油,通过这样的方式来改变谐振频率并且吸收振动能量。在恢复供电之前,务必要再一次开展空载试运行工作,仔细监测声音频谱是不是已经恢复到了正常的状态,从而保证此次处理的效果是可靠的。

3.2 跳闸故障的处理

当出现跳闸故障时,起初要依靠微机保护装置或者事件记录仪去下载故障波形以及故障录波数据,同时结合短路录波、过流录波等相关信息,细致分析初次跳闸启动的具体原因。要是由于内部绕组匝间短路引发的,在室温状态下可开展局部匝间电阻的测量工作,并且借助直流高压耐压试验来验证绕组的绝缘情况。对于油浸式变压器而言,还需同步对油中溶解气体色谱特征加以监测,倘若检测出油中的乙炔、乙烯等可燃气体浓度超出标准,那就应该判定为电弧放电的

初期阶段并马上停止设备运行。如果判定跳闸是继电保护误动作所引起的,那么就需要对继电器的整定值、CT/VT 比值以及动作特性展开校核,保证整定曲线能够和系统运行工况精准匹配起来。还要对分段跳闸逻辑以及通讯连锁设置予以核实,以防因为远动系统故障而出现误跳的情况。完成上述各项检查与调整之后,应当在局部多个点位开展带电试验或者是模拟试验,以此来验证保护整定的可靠性以及配合程度,并且形成完整的检修记录,方便后续的运维跟踪工作。

3.3 渗漏油问题的处理

渗漏油问题要从密封、结构以及材料这三个方面着手去排查。在开始作业之前,得先在干燥的环境当中开展外观方面的检查工作,借助荧光染料渗透检测手段针对那些存在疑点的焊缝、法兰还有轴向伸缩接头展开高灵敏度的检漏操作。要是察觉到密封垫出现断裂或者发生了压缩变形的情况,那就得依照设备制造商所推荐的相关规格来选用氟橡胶或者硅橡胶这类具有耐油性能的密封圈予以更换,与此还需使用适量的密封胶均匀地涂敷在接触面上,以此来填补那些细微的间隙。对于因油箱体局部金属产生疲劳而引发的微裂纹,可以先实施局部打磨除锈的操作,接着选用经过认证的环氧聚合物补焊材料一层一层地去填补裂纹,等到其固化之后再开展常温静水压力试验,确认没有渗漏情况之后才能够重新恢复运行状态。而对于那些老旧设备或者是焊缝受到严重损伤的变压器来讲,建议在检修期当中将油箱整体拆卸下来并进行更换,并且同步对内部的油枕以及套管展开全面的检验以及更换操作。完成相应的处理工作之后,需要对绝缘油的各项指标如介电强度、倾点、水分含量等进行检测,务必要保证油品的性能能够符合 IEC 60156 标准所提出的要求。

3.4 油温异常问题的处理

油温异常升高这一情况的处理,应当是以对热平衡状态展开全面分析作为基础来进行的。起初要运用在线油温监测系统去收集三层油温以及绕组热点温度方面的相关数据,并且要结合系统的 SCADA 数据来对负荷曲线加以统计,进而通过构建等效热网络模型来对实际的温升情况进行计算。要是油泵或者风扇出现了故障,那么就需要依据设备手册展开机械检测工作,具体检测内容包括轴承的磨损程度、皮带的松紧情况以及电机的绝缘状况,倘若有必要的话还得更换叶轮或者电机;在冷却水系统当中,如果存在着堵塞的情况,那就应该切断循环之后再行进行化学清洗或者借助机械手段来予以疏通。当外部冷却一切正常,可是由于负荷过高的缘故导致油温超出限定范围时,可以和调度中心进行协商,尝试通过负荷分摊或者暂时降低负荷的方式来运行,并且对运行的时间窗口做出相应的优化调整;对于那些长期处于过载运行状态而出现老化的绕组,需要对其剩余寿命进行评估,并且考虑到局部更换或者对绝缘结构加以改进的可能性,采用高性能合成油或者是纳米增强油以此来提升散热的效率。每次完成处理之后,都

得开展热稳定性试验,同时将实测得到的温升数据与设计标准进行比对,从而确保油温能够恢复到安全的范围之内。

3.5 放电问题的处理

针对局部放电故障展开处理时,得先完成电场分布仿真的相关工作以及现场声发射测试这两方面的定位事宜。借助局部放电定位仪在定频、脉冲还有 UHF 波段分别去做测试操作,以此来确定故障具体属于哪种类型,像是内部放电、表面爬电又或者是套管放电等,与此还要结合红外热成像仪针对高发区展开扫描。要是出现的是绕组间或者绕组与地之间空气隙的放电情况,那就得把绝缘纸以及油浸套管拆除掉,接着对故障所在的部位实施环氧浇筑包封的操作,并且要增设屏蔽接地层,以便让电场能够趋于均匀状态。而对于套管端部所发生的放电状况,则需要更换成硅橡胶套管或者玻璃纤维缠绕套管,并且要在其内外表面都涂覆上防污闪涂料,如此一来便能提升表面的电阻。倘若放电发生在引线端头处,那么可以采用热缩无卤防火套管重新将其密封起来,并且在端头的位置加装电场控制环^[4]。在完成修复之后,务必要开展局放测试,确保放电量要低于 10pC,并且还需进行局放的持续监测,从而确认其长期的稳定性情况。要编制有关放电处理的报告,详尽地将故障类型、处理工艺参数以及测试结果等都记录下来,进而为后续的预防性维护工作给予相应的数据方面的支撑。

4 结语

变压器于电力系统而言乃是核心设备,其实际运行的状态对于电力系统的稳定以及安全方面有着颇为重要的影响作用。本文针对变压器在实际运行进程当中常见的各类故障类型展开梳理,同时结合多种多样的智能识别技术的具体应用途径,较为系统地对不同故障所对应的处理办法以及相关技术手段加以分析。就当下情况而言,随着智能电网持续发展以及人工智能技术不断取得进展,变压器的智能运维水平也会随之不断提升。在未来,需要进一步强化对故障数据的采集工作以及后续分析环节,促使故障诊断技术同大数据平台能够实现深度融合,达成从以往的“事后维修”模式朝着“预防性维护”模式转变的目标,进而提升电力系统整体的运行效率以及经济效益。

【参考文献】

- [1] 胡洋. 基于数字孪生技术的变压器状态监测研究与探索[J]. 电气化铁道, 2023, 34(1): 38-43.
- [2] 钱苇航. 变电站主变压器运行维护要点[J]. 光源与照明, 2023(3): 143-145.
- [3] 唐颖凯, 贾骥铭. 大型变压器油色谱异常原因分析策略研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(12): 12-15.
- [4] 韩荣. 变电站常见故障与处理措施[J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(12): 49-52.

作者简介: 牟金祥(1986.2—), 单位名称: 云南华电金沙江中游水电开发有限公司阿海发电分公司, 毕业学校和专业: 昆明理工大学, 电气工程及其自动化专业。