

干式电力变压器运行异常问题分析与处理技术

马太元

聊城华瑞电气有限公司 山东 聊城 252000

摘 要：干式电力变压器是电力输配系统的核心设备，其稳定运行直接关系供电可靠性。日常运维中，设备常出现温度偏高、声响异变、绝缘衰减、工况失衡等各类异常故障。本文结合现场运行实际，系统梳理四类常见异常的故障特征，从设备本体老化、运行环境干扰、运维操作不规范、电网工况波动四个维度剖析故障成因，针对性提出专项排查修复技术与长效管控方案，可为干式变压器日常故障处置、运维优化及安全稳定运行提供实操参考。

关键词：干式电力；变压器运行；异常问题分析；处理技术

引言

在当前电力系统规模化发展的背景下，干式电力变压器凭借安全、环保、免维护性强的优势，广泛应用于工业生产、市政供电等各类场景。长期连续运行状态下，受设备老化、环境变化、人为操作及电网波动等多重因素影响，变压器极易出现各类运行异常，轻则降低设备运行效率、加速部件老化，重则引发短路、放电等重大故障，造成供电中断。为有效管控设备运行风险，减少故障发生率，本文结合现场运维经验，全面分析干式变压器典型异常问题，探究核心诱因，并梳理适配的处置技术与管控措施。

1 干式电力变压器运行常见异常类型

1.1 温度异常偏高

温度异常是干式电力变压器运行过程中最为频发的异常状态，也是直接影响设备运行稳定性和使用寿命的核心问题。在设备正常带载运行的工况下，变压器铁芯、绕组会产生规律性温升，数值始终维持在额定允许区间内。一旦出现温度持续升高、局部温度骤升或是温控系统报警的情况，就属于典型的温度异常问题^[1]。从实际运行情况来看，这类异常大多不会突然发生，基本都是由长期工况累积、设备部件老化或是运行环境变化引发。多数现场运维场景中，温度异常不会直接造成设备停运，但如果长期放任不管，会持续损耗绕组绝缘层，逐步降低设备绝缘性能，间接诱发短路、放电等更为严重的设备故障，对电力系统连续供电造成影响。

1.2 声响异常变化

正常运行的干式电力变压器会产生均匀、稳定的电磁嗡嗡声，声响频率和音量基本保持固定，无杂音、无突

变。当设备内部结构、电气工况出现异常时，运行声响会发生明显改变，这也是运维人员现场巡检最易识别的异常特征。常见的声响异常包含杂音、异响、震动声增大、间歇性噼啪声等不同类型。不同的声响变化对应设备内部不同的故障隐患，比如结构松动会引发持续性震动异响，绝缘局部击穿会产生间歇性放电声。这类异常具备较强的隐蔽性，初期不会影响设备正常供电，但随着故障程度加剧，会逐步引发部件损坏、绝缘失效等问题，需要依靠人工巡检和在线监测结合的方式及时识别。

1.3 绝缘性能异常衰减

绝缘性能是保障干式电力变压器安全运行的关键指标，绝缘状态直接决定设备的耐压能力和运行安全性。在长期运行过程中，受环境、工况、设备老化等多重因素影响，变压器绕组、套管等核心绝缘部件会出现性能下降的情况，具体表现为绝缘电阻降低、泄漏电流增大、局部放电量超标等状态。相较于温度和声响异常，绝缘性能异常无法通过直观观察识别，必须依托专业检测设备开展定期测试才能发现。这类异常属于渐进性故障，前期无明显运行征兆，当绝缘性能衰减至临界值时，会直接引发匝间短路、相间击穿、对地放电等重大故障，是威胁设备安全运行的主要隐患之一。

1.4 负载与电压运行异常

干式电力变压器在并网运行过程中，需要维持额定负载和额定电压工况，一旦工况偏离标准区间，就会出现运行异常。负载异常主要体现为长期过载、瞬时过载、负载波动频繁等情况，电压异常则包含电压偏高、电压偏低、三相电压不平衡等问题。现阶段电力系统负荷结构复杂，民用负荷、工业负荷交替变化，容易出现

负荷短时激增或波动紊乱的情况,进而导致变压器工况失衡。长期非正常工况运行会加剧设备内部部件损耗,打乱设备温升规律,加速绝缘老化,同时还会影响后端供电质量,造成用电设备运行不稳定,形成连锁性供电问题。

2 干式电力变压器运行异常成因分析

2.1 设备本体结构与部件老化因素

设备本体自身的结构特性和部件老化,是引发各类运行异常的基础性原因。干式电力变压器长期处于连续运行状态,铁芯、绕组、紧固构件、支撑部件等核心结构会出现自然老化现象。铁芯硅钢片长期受电磁感应作用,会出现磁损、铁损增大的情况,导致设备运行温升升高,引发温度异常。绕组导线长期承载负荷电流,会出现金属疲劳、导线微变形等问题,同时绕组绝缘材料经过长期温升循环、电磁作用,会逐步出现硬化、脆化、老化衰减的问题,直接降低设备整体绝缘性能^[2]。设备内部的紧固螺栓、减震支架、固定卡扣等辅助部件,长期受设备震动影响会出现松动、位移,造成内部结构稳定性下降,运行过程中产生异常震动和声响,诱发声响异常问题。这类老化问题属于设备运行的必然现象,老化程度会随运行时长逐步加剧,是运维工作需要持续管控的核心问题。

2.2 运行环境工况影响因素

运行环境对干式电力变压器的运行状态影响十分显著,也是现场异常问题频发的重要外部原因。干式变压器无油液密封结构,内部部件直接与外界环境接触,环境参数的变化会直接作用于设备本体。在潮湿环境中,空气中的水气会附着在绕组、套管绝缘表面,逐步渗入绝缘层内部,造成绝缘电阻下降、局部放电加剧,引发绝缘性能异常。在粉尘、颗粒物较多的工业环境中,粉尘会持续堆积在设备绕组、散热风道、温控探头表面,堵塞散热通道,降低设备散热效率,造成热量堆积,引发温度偏高问题。环境温度过高、通风条件不良、户外暴晒等情况,会直接改变设备的散热条件,导致设备额定散热能力不足,出现温升超标现象。另外,环境中的腐蚀性气体、温差骤变等工况,也会加速设备部件老化,间接诱发各类运行异常。

2.3 运维管理与运行操作因素

日常运维管控不到位、运行操作不规范,是导致设备异常频发、小隐患演变为大故障的主要人为因素。从运维角度来看,部分运维班组存在巡检频次不足、巡检

内容片面的问题,只关注设备外观和报警信息,忽视绝缘检测、温度校核、部件紧固等隐性检查工作,导致早期轻微异常无法及时发现,长期累积后发展为明显故障。定期清扫、设备校核、老化部件更换等常态化养护工作落实不到位,会造成粉尘堆积、参数偏移、部件失效等问题持续存在。在运行操作方面,设备启停操作不规范、负荷调整过于频繁、短时超负荷投运等操作,会打乱设备稳定运行工况,造成电磁冲击、电流波动,加剧设备内部损耗,诱发电压异常、温度异常、声响异常等各类问题。温控系统、保护装置的参数整定不合理,也会导致设备工况调控失效,出现运行状态偏离标准区间的情况。

2.4 电网负荷与供电工况波动因素

电网侧负荷变化和供电工况波动,是引发变压器运行异常的外部电气因素。当前电力系统用电负荷具备明显的时段性、季节性波动特征,高峰负荷时段电网整体负荷激增,变压器容易出现短时过载、三相负荷不平衡的情况,导致设备电流、电压参数偏移额定值,引发运行工况异常^[3]。低谷负荷时段电压偏高,也会造成变压器空载损耗增大、温升异常。除此之外,电网中的谐波干扰、瞬时电压冲击、负荷突变等问题,会改变变压器的电磁运行状态,造成铁芯磁通紊乱、绕组电流分布不均,不仅会增大设备运行噪音和震动,还会加剧绝缘层的电气损耗,加速绝缘老化,提升各类异常问题的发生概率。

3 干式电力变压器运行异常处理技术与管控措施

3.1 温度异常专项处理技术

针对干式电力变压器温度异常问题,现场处理以排查散热隐患、优化运行工况、消除温升诱因作为核心思路。首先开展散热系统全面核查,重点检查设备散热风道是否存在粉尘堵塞、遮挡情况,及时对绕组表面、风道内部的堆积杂物进行彻底清扫,恢复设备固有散热能力。其次核查设备运行工况,核对实时负载数据,判断温度偏高是否由过载运行引发,若存在过载问题,需及时调整负荷分配,削减超额负载,避免设备长期超工况运行。针对环境通风不良引发的温升异常,需要优化设备运行环境,加装通风散热设备、清理设备周边遮挡物,保障空气流通,降低环境温度对设备散热的制约影响。对温控系统、温度传感器进行校核调试,排查探头失效、参数偏移、温控失灵等问题,确保温度监测数据精准、散热风机启停逻辑正常。完成隐患处理后,持续监测设备温升变化,确认温度恢复至额定区间,杜绝反复性温度异常问题。

3.2 声响异常排查与整改技术

干式变压器声响异常的处理,遵循先甄别异响类型、再定位故障点位、最后落实整改的技术流程。运维人员首先结合现场声响特征,区分机械震动异响和电气放电异响两类问题。针对机械性异响,重点排查设备内部紧固部件、支撑结构、减震装置,对松动的螺栓、位移的支架、失效的减震部件进行紧固、复位和更换,消除结构松动引发的震动噪音,同时检查设备外壳、接线端子是否存在接触不良、共振问题,及时做好调整加固^[4]。针对电气性异响,重点排查绕组绝缘、接线部位、套管表面状态,检查是否存在绝缘破损、表面爬电、接线虚接等问题,对存在缺陷的绝缘部件进行修复或更换,重新紧固接线端子,消除局部放电引发的异响。整改完成后,空载试运行设备,观察运行声响是否恢复均匀稳定,确保内部故障隐患彻底消除,避免异响问题持续存在引发部件损坏。

3.3 绝缘异常修复与性能提升技术

绝缘性能衰减异常的处理,核心是清除绝缘缺陷、恢复设备绝缘水平、阻断绝缘老化进程。首先采用专业检测设备完成绝缘电阻、局部放电量等参数测试,精准判断绝缘异常的位置和衰减程度。对于环境潮湿、表面粉尘污染引发的绝缘性能临时下降,可通过干燥处理、表面清扫、绝缘喷涂养护等方式,去除绝缘表面污染物、驱散内部水汽,快速恢复绝缘参数至合格范围。对于绝缘层老化、脆化、局部破损引发的永久性绝缘缺陷,需要针对性开展部件维修或更换作业,对故障绕组、破损套管进行专业处理,杜绝局部绝缘薄弱点。落实常态化绝缘防护措施,在潮湿、多尘运行环境中,定期开展绝缘养护检测,及时排查隐性绝缘缺陷,提前干预绝缘老化问题,从源头降低绝缘异常故障的发生概率,保障设备绝缘系统长期稳定运行。

3.4 工况异常调控与长效运维管控措施

针对负载、电压等工况异常问题,主要通过工况动态调控和电网参数优化实现问题整改。实时监测变压器三相负载、运行电压、电流等核心参数,针对三相负荷不平衡问题,及时调整负荷分配,均衡各相负载,避免

单相过载引发的工况异常。针对电网电压波动问题,配合电网调控系统做好电压稳压调节,稳定设备运行电压区间,规避高压、低压运行带来的设备损耗^[5]。规范设备运行操作流程,杜绝频繁启停、强行带载、超负荷运行等不规范操作,保障设备运行工况平稳。在长效运维方面,建立常态化巡检和周期性检测机制,细化巡检项目,重点核查设备温升、声响、绝缘、工况参数等核心状态,提前识别早期异常隐患。定期开展设备全面养护,清扫设备部件、校核监测参数、更换老化配件,持续优化设备运行状态,从运维层面降低各类运行异常的发生概率,保障干式电力变压器安全、稳定、长效运行。

结语

干式电力变压器运行过程中的各类异常问题,是设备老化、环境干扰、运维疏漏、电网波动等多重因素共同作用的结果,各类异常相互关联、相互影响,若处置不及时极易引发重大设备故障。本文系统总结了设备四类典型运行异常的特征与成因,配套提出了针对性的故障处置技术和长效运维管控方案。在实际运维工作中,需结合现场工况精准甄别故障类型、找准问题根源,落实精细化整改与常态化养护,有效降低设备故障发生率,切实提升干式电力变压器运行的安全性、稳定性与长效性,为电力系统可靠供电提供坚实保障。

参考文献

- [1] 黄福顺. 电力变压器油中溶解气体的分析及故障判断[J]. 电力设备管理, 2026(8):28-30.
- [2] 苏世民, 任智学, 渠淮波. 电力变压器绝缘老化机理及在线监测技术分析[J]. 今日制造与升级, 2025(10):135-137+153.
- [3] 渠冠华. 电力变压器冷却器运行故障处理技术分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(10):64-67.
- [4] 杨望, 罗洋. 干式变压器检修维护中的常见故障及处理技术应用[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(2):090-093.
- [5] 王松, 张甲波, 袁国辉, 张明峰, 高阳. 电力变压器常见故障分析与处理[J]. 冶金设备管理与维修, 2025, 43(6):40-42.