

变压器设备状态检修技术的创新应用与实践

刘喜军 康吉彪

国能内蒙古呼伦贝尔发电有限公司 内蒙古 呼伦贝尔 021025

摘要: 作为电力系统的核心设备, 电力变压器的运行状态直接影响电网的安全稳定运行。开展变压器状态检修技术研究, 有助于提升电力系统的可靠性与经济性。本文重点探讨了变压器状态监测技术及其典型运行故障特征, 旨在为优化检修策略提供理论依据, 实现运维成本的科学管控。

关键词: 电力变压器; 状态检修; 技术研究; 应用

1 前言

电力变压器在电能传输过程中承担电力输送与电压转换的核心功能。维持设备持续稳定运行是保障供电可靠性的关键前提, 自动化技术的发展提升了电力变压器的检修复杂度, 亟需应用状态监测技术与智能诊断手段优化维保策略, 实现精准干预与效能提升。主变压器状态评估对变电站管理具有多重价值。供电质量的保障直接关联社会用电需求, 设备突发故障引发的停电事故将影响区域电力供应, 系统性开展状态监测可显著降低运行风险。反复发生的设备异常将加速元件老化, 实时掌握设备健康度并实施针对性维护能有效延缓性能衰退周期, 这对延长资产使用寿命具有经济意义。非计划性维修将导致资源浪费与成本攀升, 建立基于状态评价的预判式检修体系有助于提升设备全寿命周期管理效益。构建预防导向的运维体系需要完善技术标准与管理机制, 制定多维度状态评估指标体系, 开发智能诊断算法提升缺陷识别准确率, 建立设备状态数据库支撑决策优化。设备管理者应强化数据驱动理念, 通过规范化流程降低突发故障概率, 最终实现电力系统安全经济运行目标。

2 电力变压器状态检修概述

随着电力系统技术迭代与装备升级, 新型运维模式逐步取代传统检修方式。现代输变电网络中变压器集群规模持续扩张, 设备可靠性需求倒逼运维体系革新, 基于多维度状态评估的预测性维护技术成为行业主流。该技术架构整合实时监测与离线诊断模块, 构建动态数据采集网络, 通过特征参数提取与异常模式识别, 形成差异化检修决策树。状态监测技术体系包含三层核心模块, 传感器网络实时追踪油温色谱、局部放电等动态参数, 离线实验室完成介质损耗因数、极化指数等静态指标检测, 智能诊断平台融合多源异构数据, 结合设备历史档案与环境变量构建评估模型。当系统识别到负荷电流波动异常或绝缘性能劣化趋势时, 决策引擎将参照IEC

导则与设备健康度图谱生成定制化维保方案, 涵盖预防性试验周期调整、关键组件更换优先级排序等策略。执行阶段采用闭环优化机制, 对完成检修的设备进行性能验证测试, 未触发动作阈值的设备则更新基准参数库。运维团队通过对比油中溶解气体含量变化率、绕组变形指数等关键指标, 动态修正诊断算法权重系数, 实现知识库的持续演进。这种自适应的管理模式有效平衡设备可用性与维护成本, 确保电力网络在复杂工况下的稳定裕度。

3 变压器状态检修评估系统评估体系的建立

本研究构建了基于层次分析法(AHP)的变压器状态量化评估体系, 通过集成局部放电、油温、微水含量、油中溶解气体及铁芯接地电流等多参数在线监测平台, 实现了变压器运行状态的实时监测与故障预警。该模型融合大数据采集、智能分析及数据可视化技术, 专家系统涵盖知识库构建、运行趋势解析、多指标异常预警、状态评估及决策支持等功能模块。在变压器状态评价建模过程中, 采用AHP与专家经验相结合的方法, 对各运行状态参数进行层次化定量分析, 最终建立了完整的变压器状态层次化评估模型体系。

3.1 典型干扰源及抗干扰方法

在电力系统监测领域, 二级回路不仅会受到初级回路暂态过程产生的电磁耦合干扰, 其自身亦会产生干扰信号。若不采取有效的屏蔽措施, 将严重影响监测数据的传输质量。特别值得注意的是, 变压器局部放电、机械振动以及铁芯接地电流等特征信号均为微弱信号。为提升数据采集精度, 必须通过缩短信号采集路径来减小信号衰减, 同时抑制现场噪声干扰。本系统采用分层分布式网络架构, 构建了由就地智能监测终端和后台监测系统组成的双层监测体系, 两者间通过光纤通信实现数据交互。针对变电站环境中存在的谐波干扰、开关操作干扰及雷击干扰等典型干扰源, 装置设计重点从电气隔

离、频域滤波、电磁屏蔽和可靠接地四个维度实施综合防护措施。

3.2 基于多传感器数据融合和分析诊断

本研究致力于构建一种融合巡视普测与精确定相定位的变压器局部放电检测方法体系。通过整合电磁矢量传感器与声光信号特征分析技术,采用声电联合检测模式,建立基于多源异构传感器数据融合的变压器故障诊断系统。研究重点包括:1)开发基于油色谱、微水含量及溶解气体分析的变压器状态监测系统;2)实现铁芯接地电流等关键参数的实时采集;3)构建大规模设备状态数据集成平台,涵盖数据采集、特征提取、智能分析、故障诊断及状态评估等全流程功能模块。

3.3 建立变压器局放、油温、微水、油中气体和铁芯接地电流综合监测体系

本研究构建的智能监测系统采用多源传感信息融合与智能诊断技术,实现了变压器运行状态的多维度实时监测。系统架构包含现场测控层、数据传输层和中心分析层三个主要部分。现场测控层配置了多种智能监测终端,具体包括:1)数据采集处理模块;2)超高频局部放电传感器;3)高频电流检测装置;4)铁芯接地电流监测单元;5)本体振动传感器;6)油温与微水含量检测仪;7)油中溶解气体分析仪等。这些监测设备分别安装在变压器本体的关键测量位置,其中数据采集处理模块集成于现场控制箱内,通过专用接口与各类传感器及核心处理单元相连,构成完整的在线监测网络。

3.4 变压器的实时状态量化评估法

本研究采用基于层次分析理论的实时状态评估方法,将系统架构划分为指标层、标准层和目标层三个递进式结构层次。系统采用分布式测量与集中式监控相结合的架构设计,其中监测控制屏设置于控制室内,集成了监测显示单元和监测集中处理单元;数据采集装置则部署于变压器周边区域,与各类传感器协同工作。系统通过光纤通信和串行接口实现数据采集单元与监测集中单元之间的双向数据传输,这种设计不仅显著提升了现场数据采集的精确度,有效抑制了环境噪声对信号质量的干扰,同时实现了可靠的一、二次回路电气隔离,大幅提升了系统运行安全性。后台监控系统部署于变电站集控中心,其核心功能模块包括控制处理单元和显示监控单元,能够实现对变压器多维度运行参数的实时监测、告警评估、趋势分析等智能化功能,并具备完善的告警日志分析、历史数据存储及报表生成等辅助决策功能。

4 电力变压器状态检修中常见的故障

4.1 绝缘故障

纵观变压器运行中形形色色的事故类型,绝缘系统的稳定性问题尤为突出,统计数据揭示这类故障占比竟高达七成乃至八成。追溯这些绝缘失效的诱因,可以发现几条清晰的脉络,机械外力冲击对绝缘完整性构成直接威胁,持续的高温运行会加速绝缘材质的老化进程、削弱其性能,绝缘部件在使用过程中难免出现损伤、致使其电气强度逐渐衰减,设备在出厂之初就可能潜藏着绝缘强度的先天缺陷。将视线聚焦于变压器在实际工况下出现的绝缘问题,其成因常常具象化为几种典型场景,设备内部不慎残留的异物,无论是细小的金属导体抑或其它导电性杂质,都可能在长期运行中造成绝缘层的物理磨损、甚至诱发局部放电,最终导致绝缘系统在正常工作电压下崩溃。另一种常见情形是变压器意外进水或受潮,水分子的侵入会显著劣化绝缘油的电气性能、大幅降低其击穿电压阈值,从而直接威胁到绝缘安全。外部环境的挑战同样严峻,雷电现象对变压器构成严峻考验,特别是对于那些自身防雷能力偏低或绝缘设计存在先天不足的设备而言,一次雷击就可能直接触发灾难性的接地短路事故。

4.2 短路故障

电力系统短路瞬间产生的巨大电流可能引发设备损毁,保护装置灵敏度不足或定值设定过高将导致绕组烧毁事故,电磁冲击类型可划分为内部导体接触异常、输出端线路击穿、绝缘介质失效、多相回路互碰四类物理形态。

4.3 铁芯故障

作为能量转换核心的绕组与铁芯可能面临机械传动部件失效、散热系统异常、容器密封失效三类问题,金属构件疲劳断裂、冷却介质循环阻塞、密封材料老化龟裂均会直接影响设备运行稳定性。

4.4 放电故障及其他故障

绝缘介质劣化可能引发间歇性电弧放电,油纸复合结构缺陷易诱发持续性局部放电现象。设备异常运行状态还包含以下特征,温升曲线陡峭反映过载运行或线圈层间击穿,二次侧电压畸变指向线路阻抗突变或匝间绝缘破损,外壳电势异常显示接地系统失效或内部绝缘劣化,局部温差异常表征磁路损耗加剧或输入电压偏移,电磁振动噪声增大暗示绝缘介质碳化或机械紧固件松动。

5 电力变压器状态检修技术研究及应用

5.1 变压器日常状态检修

变压器常规运维需执行多维度状态监测与评估。运维人员需确认额定电流及运行电压处于正常区间,持续监测油位、油温及油色参数,辨识器身是否存在渗漏

油迹象,观察高低压瓷套管表面洁净度、裂纹及破损状况。接线端子接触面氧化程度与温升异常需重点分析,绕组电磁振动声频特征应保持均匀稳定,硅胶呼吸器变色比例超过三分之二需立即更换。主油路阀门开闭状态须与散热系统运行模式相匹配,气体继电器连接管路阀门应保持全开状态。压力释放装置防爆膜完整性验证需核查十字刻痕清晰度,散热器表面温度分布均匀性可反映油流循环效率。设备本体双重接地系统连接可靠性需使用专用仪表检测,混凝土基础沉降观测数据应记录在案,木质构架需排查根部腐朽深度,金属支架重点检测焊接部位锈蚀程度。

5.2 变压器定期试验检修

定期试验检修的执行,严格依循《电力设备交接和预防性试验规程》这一根本准则,综合清点,共有三十五项检修内容铺陈开来,其中包含十项常规试验。参照特定的试验规范,对变压器展开细致的周期性检修与核查工作,通过审视变压器运行的实时状态,人们得以即时察觉设备内部可能滋生的隐患。随后对侦测到的问题点进行缜密考察,意在锁定故障根源,进而快速消解异常状况,此举旨在有效阻止故障范围的扩大、显著压缩故障处理所需的时间及经济开销、全面优化故障应对的流程效率。

5.3 在线监测技术

基于现代传感技术的变压器在线监测系统,通过实时采集设备运行过程中的多源信号数据,结合智能诊断算法对变压器运行状态进行动态评估。该系统能够有效识别设备异常信号特征,实现潜在故障的早期预警,并为故障类型判断提供数据支持。监测过程中,系统持续跟踪关键参数变化趋势,在故障发生前及时发出预警信号,为运维人员采取预防性维护措施提供决策依据。结合实际作业中电力变压器状态检修在线监测技术的运用,常见的在线监测技术有以下3种:(1)油中溶解气体分析技术(Dissolved Gases Analysis, DGA)作为一种重要的变压器状态监测手段,其检测对象主要为变压器绝缘油。该油品主要由石油分馏产物构成,包含芳香族不饱和烃、环烷族饱和烃及烷烃等成分。当变压器内

部出现异常工况时,在电热应力作用下,这些复杂有机化合物会发生裂解反应,生成 H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 等特征气体。通过实施DGA定期检测与专项分析,可准确测定油中溶解气体的组分及其浓度分布,进而与基准参数进行对比分析,实现对变压器潜在故障的早期诊断与精确定位。(2)局部放电在线监测技术(Partial Discharge Monitoring, PDM)作为电力设备状态评估的重要手段,变压器在长期运行过程中持续承受工作电压作用,由于绝缘结构存在厚度差异,导致各部件承受的电场强度分布不均。随着运行电压波动,绝缘薄弱区域易产生局部放电现象。该技术通过实时采集放电脉冲信号,量化分析放电强度与时频特征,为故障定位及成因诊断提供依据,从而实现设备缺陷的早期预警与及时处置。(3)基于红外辐射原理的温度监测技术,其物理本质是物体在绝对零度以上时自发辐射的电磁波(波长 $0.76-100\mu m$)。变压器正常运行时的热辐射具有特定分布特征,当内部出现异常时会导致热场分布畸变。采用高灵敏度红外探测器,可将设备表面辐射能转化为电信号,经图像处理系统生成热像图谱。这种非接触式检测方法能有效识别过热性故障,对温度异常区域实现精确定位,具有响应快速、诊断直观的技术优势。

结语

本研究通过系统分析电力变压器状态检修技术,证实该技术能显著提升设备利用率并延长运行周期,从而优化电力系统整体运行效能。作为国民经济发展的基础性能源设施,电力建设对社会经济运行和民生保障具有关键性支撑作用。本文重点探讨了变压器状态检修过程中的典型故障类型及应对策略,旨在推动我国电力行业技术水平的提升。

参考文献

- [1]马君燕,胡心平,杨青青.电力变压器状态检修技术与评价方法[J].电力设备管理,2018(10):44-46.
- [2]赵宗杰.探讨电力变压器状态检修技术研究及应用[J].江西建材,2017(16):194.
- [3]马越江.电力变压器状态检修技术的应用分析[J].电子测试,2016(21):120,122.