

220kV变压器智能化关键技术研究与应用

闫建成

国家电投铝电公司青铜峡铝业分公司 宁夏 吴忠 751603

摘要：220kV变压器智能化技术涵盖了智能监测、故障诊断、智能控制及通信技术。电气参数与机械状态的实时监测确保变压器运行安全；基于油中溶解气体分析和人工智能的诊断技术提高故障识别精度；有载调压控制、冷却系统智能控制及智能故障预警与诊断优化运行效率；内部通信网络、对外通信接口及远程智能运维平台集成实现数据共享与远程管理。这些技术共同提升了220kV变压器的智能化水平，保障了电力系统的稳定运行。

关键词：220kV变压器；智能化关键技术；研究与应用

引言

在电力系统的飞速发展中，220kV变压器扮演着举足轻重的角色。其智能化水平的提升，不仅是电网安全稳定运行的坚实保障，更是推动电力系统智能化转型的关键。本文深入探究220kV变压器智能化关键技术研究与应用，涵盖智能监测、故障诊断、智能控制及通信技术等多个维度。这些技术的综合运用，旨在提升变压器的运行效率，减少故障发生，为电力系统的智能化进程提供强大的技术支持，助力电力行业迈向更加高效、智能的未来。

1 220kV 变压器智能监测技术

1.1 电气参数监测

在220kV变压器的智能监测技术中，电气参数监测与绕组温度监测扮演着至关重要的角色。（1）电气参数监测方面，电压与电流的实时监测是核心所在，借助高精度传感器，系统能够实时捕捉变压器原副边的电压、电流信号。这些信号经过精密的信号调理与模数转换过程后，被送入监测系统进行分析与处理，这一流程不仅能够即时反映变压器的负载状况，还能基于电压与电流的相位关系，精确计算出功率因数等关键参数。这些参数对于无功补偿控制策略的制定具有指导意义^[1]。在某工业园区的220kV变电站，实时的电流监测功能成功预警了一台变压器的负载率过高问题，及时采取负荷调整措施，有效避免了可能因过载而导致的跳闸事件，确保了电网的稳定运行。（2）绕组温度作为评估变压器运行状态的关键指标，其监测同样不容忽视。为了实现绕组温度的精确测量，通常采用光纤测温或铂电阻测温技术。光纤测温技术以其卓越的抗电磁干扰能力和高精度的测温性能而著称。该技术能够分布式布置在绕组内部的多点位置，实现对温度分布的精准测量。而铂电阻测温技术则常用于绕组热点部位的监测，其测量值经过专门的补偿

算法校正后，能够真实反映绕组的实际温度。一旦绕组温度出现异常升高，系统将立即触发预警机制，提前警示潜在的过热故障，为运维人员提供宝贵的处理时间，有效避免故障扩大化。

1.2 机械状态监测

在220kV变压器的智能监测体系中，机械状态监测同样占据着举足轻重的地位。其中，振动监测与噪声监测是两项关键技术。第一，振动监测通过捕捉变压器运行时的振动信号，实现对铁芯和绕组等关键部件状态的实时监测。变压器在运行过程中，由于铁芯的磁致伸缩效应和绕组所受的电磁力作用，会产生一定的振动。通过在油箱表面安装高精度的加速度传感器，系统能够实时采集这些振动加速度信号。随后，利用频谱分析技术对这些信号进行处理，提取出特征频率成分，从而判断铁芯是否存在松动、绕组是否发生变形等潜在故障。某电力公司曾对一批老旧220kV变压器实施了振动监测改造，成功捕捉到了一台变压器铁芯因长期振动而出现的轻微松动迹象，并及时进行了检修，有效避免了故障的进一步恶化。第二，噪声监测则是通过麦克风阵列采集变压器运行时的噪声信号，实现对变压器机械状态的另一种监测方式。噪声与变压器的机械状态密切相关，当变压器内部部件出现摩擦、松动等异常情况时，其运行噪声会发生变化。通过时频分析技术，系统能够对比正常运行时的噪声谱，识别出因异常而产生的噪声频率成分，从而辅助判断变压器内部的机械健康状况。噪声监测还能够满足变电站噪声污染管控的要求，确保变电站的运行环境符合相关标准。

2 220kV 变压器故障诊断技术

2.1 基于油中溶解气体分析（DGA）的诊断

220kV变压器在运行过程中，其绝缘油在电、热等多种因素的作用下会发生分解，进而产生氢气、甲烷、乙

烯等多种气体。这些气体的成分与含量变化,往往能够反映出变压器内部的故障状况。为了实现对这些气体的精准分析,我们引入了在线油气分离装置,它能够实时提取油中的溶解气体。随后,利用气相色谱仪或新型的光声光谱传感器,对这些气体的成分与含量进行定量分析。依据改良后的三比值法等诊断规则,我们可以根据气体的分析结果,准确判断变压器的故障类型。局部放电通常会产生高浓度的氢气;而过热故障则会使乙烯、甲烷等气体的含量显著上升。这项技术以其早期发现潜伏性绝缘故障的独特优势,在众多220kV变电站中得到了广泛应用,成为了绝缘监测的标准配置。

2.2 人工智能诊断方法

在220kV变压器的故障诊断领域,人工智能技术的引入为故障识别与处理带来了新的突破。其中,人工神经网络与支持向量机(SVM)是两种主要的人工智能诊断方法。(1)人工神经网络通过构建多层神经网络模型,实现了对监测数据的深度学习与智能分析,该模型以电气参数、机械参数以及油中溶解气体数据作为输入神经元,经过大量的训练与学习,能够精准捕捉不同故障模式下的数据特征^[2]。在输出端,模型能够准确给出故障类型及其概率,为运维人员提供了可靠的诊断依据。由于训练样本涵盖了大量的历史故障数据与正常运行数据,因此该模型在面对新数据时能够表现出极强的自适应能力,有效降低了误判率,在复杂故障诊断场景中展现出了卓越的性能。(2)支持向量机则是基于统计学习理论的一种故障诊断方法。它将故障诊断问题转化为二分类或多分类问题,通过核函数将低维非线性数据映射到高维空间,从而寻找到最优的分类超平面。这一特性使得SVM在变压器故障与否、故障类别的判别上具有较高的准确性。与神经网络相比,SVM在处理小样本、非线性问题上具有显著优势。在一些样本有限的220kV变压器故障诊断试点项目中,SVM取得了良好的应用效果,证明了其在变压器故障诊断领域的实用性与可靠性。

3 220kV 变压器智能控制技术

3.1 有载调压控制

在220kV变压器的智能控制技术中,有载调压控制是一项至关重要的功能。它能够根据电网电压的波动和负载的变化,智能地调节有载分接开关的档位,从而确保输出电压的稳定,为用户提供高质量的电力供应。智能控制系统通过实时监测电网电压和负载的变化情况,采用电压闭环控制策略来精确调节有载分接开关的档位。具体来说,系统会实时比较输出电压的实测值与设定值,一旦发现偏差超出预设的阈值,便会立即启动控

制算法进行计算。这一算法会根据当前的电压和负载状况,迅速确定最优的档位切换指令,并驱动电机对分接开关进行精确调整。在城市中心区的220kV配电系统中,用电低谷时段的负载波动尤为显著。这时,智能有载调压控制技术便能够发挥其独特的优势。通过智能调节分接开关的档位,它能够确保在用电高峰时段,即使负载大幅增加,输出电压也能保持稳定;而在用电低谷时段,即使负载大幅下降,输出电压同样不会受到影响。这样,敏感负荷便能够获得稳定可靠的供电,避免了因电压波动而造成的设备损坏或供电中断等问题。

3.2 冷却系统智能控制

在220kV变压器的运行维护中,冷却系统的能耗与设备寿命一直是关注的焦点。传统的冷却风机、油泵等设备往往按照固定的模式进行启停,这种操作方式不仅容易造成能源的浪费,还可能导致设备的过度磨损,缩短其使用寿命。为了解决这一问题,智能化冷却系统应运而生。该系统能够依据变压器绕组温度、负载电流等关键参数,动态地调整冷却设备的投切策略。在低温低载的情况下,智能化冷却系统会自动减少冷却设备的运行数量,以降低不必要的能耗,同时减少设备的运行时间,延长其使用寿命。而在高温重载的情况下,系统则会根据实际需要,优化组合冷却设备的运行方式,确保变压器能够得到充分的散热,避免过热现象的发生。实际应用中,某沿海地区的220kV变电站在引入了智能化冷却系统后,取得了显著的效果。据统计,该变电站的冷却系统能耗降低了约20%,节约了大量的能源,还有效降低了设备的运行成本。

3.3 智能故障预警与诊断

在220kV变压器的智能控制技术中,除了有载调压控制和冷却系统智能控制外,智能故障预警与诊断也是一项极为关键的功能。这一功能通过集成先进的传感器技术、数据分析算法和人工智能模型,实现对变压器运行状态的实时监测和深度分析。智能故障预警系统能够连续监测变压器的各项关键参数,如油温、绕组温度、油中气体含量(特别是溶解气体分析,如氢气、甲烷、乙烷等的含量变化)、局部放电水平以及振动和声音信号等。一旦这些参数出现异常波动或超出预设的安全范围,系统能够立即触发预警机制,向运维人员发送警报信息,并可能自动采取初步的保护措施,如限制负载、启动备用冷却系统等,以防止故障进一步恶化。智能诊断系统利用机器学习算法对历史故障数据和实时监测数据进行分析,能够自动识别出潜在的故障模式,预测故障的发展趋势,并提供详细的诊断报告和维修建议。

4 220kV 变压器智能化通信技术

4.1 内部通信网络

在220kV变压器的智能化进程中,内部通信网络的构建是至关重要的一环。为了确保变压器内部各智能组件间的高效协同工作,采用了高速、可靠的现场总线或工业以太网通信技术,变压器内部的智能组件,如传感器、测控单元等,通过Profibus-DP、CAN总线等高速现场总线,或者工业以太网进行连接^[3]。这些通信技术以其高带宽、低延迟的特性,确保了传感器采集的数据能够迅速、准确地传输至测控单元。各组件之间也能够实现实时的信息交换和协同工作,从而提高了整个变压器的监测与控制实时性。内部通信网络还具备良好的抗干扰能力。在复杂的电磁环境下,变压器内部可能会产生各种电磁干扰。为了确保通信的稳定性和可靠性,内部通信网络采用了多种抗干扰措施,如屏蔽、滤波等,有效地降低了电磁干扰对通信的影响。传感器能够实时采集变压器的各种运行参数,测控单元则能够根据这些参数进行精准的控制和调节,提高了变压器的运行效率和稳定性,还为运维人员提供了更加全面、准确的监测数据,有助于及时发现和处理潜在故障,确保电网的安全、可靠运行。

4.2 对外通信接口

在220kV变压器的智能化进程中,对外通信接口的设计同样至关重要。为了确保变压器与变电站监控系统之间的无缝对接,采用了遵循IEC61850标准的以太网通信技术。IEC61850标准是国际电工委员会制定的关于变电站自动化系统的通信网络和系统的标准。它规定了变电站内各种智能设备之间的通信协议和数据模型,确保了信息的标准化和互操作性。220kV变压器通过遵循这一标准,能够轻松地将自身的运行参数、诊断结果、控制状态等信息上传至变电站监控系统。对外通信接口还能够接收来自远方调控中心的指令。这些指令可能包括变压器的分接开关调整、冷却系统的启停控制等。通过以太网通信,变压器能够实时响应这些指令,确保电网调度和运维人员能够对变压器进行远程的智能运维。电网调

度和运维人员可以通过统一的监控平台,实时获取变压器的各种运行数据,进行全面的监测和分析。一旦发现异常或潜在故障,他们能够迅速采取措施进行处理,从而确保电网的安全、可靠运行。

4.3 远程智能运维平台集成

随着物联网、大数据和云计算技术的快速发展,220kV变压器的智能化通信技术正逐步向更高层次的远程智能运维平台集成迈进。这一集成不仅提升了变压器的智能化水平,更为电网的运维管理带来了革命性的变化。远程智能运维平台通过集成220kV变压器的实时监测数据、故障诊断结果以及控制指令等信息,实现了对变压器运行状态的全天候、全方位监控。运维人员只需通过电脑或移动设备,即可远程访问该平台,实时查看变压器的各项运行参数、历史数据以及故障预警信息。这不仅极大地提高了运维效率,还降低了运维成本。远程智能运维平台还具备强大的数据分析和挖掘能力。通过对变压器运行数据的深度分析,平台能够发现潜在的运行规律,为运维人员提供科学的决策支持。平台可以通过对历史故障数据的分析,预测变压器的故障趋势,从而提前制定检修计划,避免故障的发生。

结语

综上,220kV变压器智能化关键技术的研究与应用对于提升电力系统整体智能化水平至关重要。通过不断优化智能监测、故障诊断、智能控制及通信技术,我们可以进一步提高变压器的运行效率、延长设备寿命,并降低运维成本。未来,随着技术的不断进步,20kV变压器的智能化水平将持续提升,为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]杨光雨.平顶山市某110kV智能变电站设计[D].黑龙江:东北农业大学,2020.115-119.
- [2]吕春光,陈冠望,孔丹军.提高配电终端在线率[J].农村电气化,2023(7):57-60.
- [3]邓杰文.变压器智能化升级与运维管理技术创新[J].电力设备管理,2023(17):122-124.