

变电设备在线监测技术在智能变电站的应用研究

龙本焱 刘溪 张彩链

(贵州电网有限责任公司凯里供电局 贵州凯里 556000)

摘要:随着智能电网的快速发展,变电站作为电力系统的核心节点,其智能化和自动化水平对整个电网的可靠性和效率具有至关重要的影响。传统变电站主要依靠定期巡检和人工监测来确保设备的正常运行,这种方式不仅效率低下,而且难以及时发现和处理设备的潜在故障,在线监测技术的兴起,为变电设备的实时监测和智能管理提供了全新的解决方案。本文通过探讨在智能变电站中变电设备在线监测技术的特点来了解技术价值,提出变电设备在线监测技术的应用要点,以此来为智能变电站的进一步发展提供参考。

关键词:变电设备;在线监测技术;智能变电站

引言:

在现代电力系统的发展需求和智能化管理水平提升的背景下,变电站管理方式需要满足高效、稳定、可靠的电力供应要求,在线监测技术通过实时监控变电设备的运行状态,可以及时发现设备潜在故障,预防突发事件的发生,提高电网运行的可靠性和安全性。智能变电站作为未来电力系统发展的重要方向,集成了先进的通信、控制和自动化技术,在线监测技术的引入进一步增强了其智能化程度,有助于实现对电力设备的全生命周期管理,促进电力系统向更加智能化、自动化、信息化方向发展,具有重要的研究价值和现实意义。

一、在智能变电站中变电设备在线监测技术的特点

在线监测技术在智能变电站中的应用可以显著提高设备运行的可靠性和安全性,通过实时监测设备状态,能及时发现潜在的故障和异常,避免因设备故障引发的大规模停电事故,这种预警机制不仅提升了变电站的运行稳定性,还大大降低了事故率。并且在线监测技术使得变电设备的维护从传统的定期检修转变为基于状态的维护,优化了维护策略和周期,减少了不必要的停机时间和维护成本。在线监测技术对于数据的实时采集和分析能够为运维人员提供详细的设备运行状况报告,支持精准的故障定位和快速响应,缩短故障处理时间,提高运维效率,通过对大量历史数据的积累和分析,在线监测系统还能够发现设备的长期运行趋势,为设备的健康评估和寿命预测提供科学依据,进一步增强了变电站的智能化管理能力。在线监测技术不仅显著提升了变电设备的可靠性和安全性,还通过数据驱动的维护优化和故障管理,极大地降低了运营成本,推动了智能变电站的全面发展^[1]。

二、在智能变电站中变电设备在线监测技术的主要内容

(一) 传感器技术

传感器技术是变电设备在线监测的核心,通过各种类型的传感器实时获取设备的运行状态和环境参数。其中温度传感器是常用的监测设备之一,通过实时监测变压器、断路器和电容器等设备的温度变化,能够及时发现设备可能存在的过热情况,预防和减少由此引起的设备损坏或故障。电流传感器和电压传感器则用于测量设备的电气参数,如电流负荷和电压波动,帮助运维人员了解设备的实时工作状态,及时调整运行策略。振动传感器则通过监测设备的振动和震动情况,可以检测出设备可能存在的机械故障,如轴承磨损或松动,提前进行维护和修复,避免设备损坏。而油中气体传感器用于变压器油中溶解气体的检测,通过油中气体分析(DGA)技术,可以预测变压器内部的电气故障,帮助运维人员采取相应的措施以防止设备的进一步损坏^[2]。

(二) 数据采集与传输技术

在智能变电站中,数据采集与传输技术是实现在线监测的关键环节,数据采集设备需要具备高速和高精度的特点,确保实时获取准确的监测数据。数据采集设备通常与传感器直接连接,将采集到的数据转换为数字信号,然后通过通信网络传输至监控中心。并且通信技术的发展极大地提升了数据传输的效率和可靠性,光纤通信、无线通信和工业以太网等技术在变电站中得到了广泛应用,确保数据的实时传输和低延迟。此外,数据传输协议的标准化也极为重要,常见的如IEC61850标准,它确保了不同设备和系统之间的互操作性和兼容性,促进了智能变电站的统一管理和数据共享。

（三）数据处理与分析技术

数据处理与分析技术是实现变电设备在线监测系统智能化的核心部分，通过对海量监测数据的处理和分析，能够实现故障预警和预测性维护。数据处理技术包括数据的存储、清洗、过滤和归一化，确保数据的完整性和一致性。之后利用大数据分析技术和机器学习算法，对历史数据和实时数据进行深入分析，识别出潜在的故障模式和异常状态。例如，通过对变压器油中气体成分的分析，可以预测变压器的老化状态和潜在故障；通过对断路器操作特性的分析，可以预判机械磨损或操作失误。并且在数据处理与分析中通过数据可视化技术的应用，可以利用图表、仪表盘和报警系统，直观展示设备的运行状态和健康状况，帮助运维人员及时做出决策^[3]。数据处理与分析技术的应用，极大提高了变电设备的运行可靠性和维护效率，推动了智能变电站向更加自动化和智能化的方向发展。

三、变电设备在线监测技术在智能变电站的应用实践

（一）在变压器在线监测中的应用

在智能变电站中，通过多种传感器和监测技术来实时跟踪变压器的运行状态和健康状况，主要的监测手段包括油中气体分析（DGA），温度监测和负荷监测。油中气体分析（DGA）通过检测变压器油中溶解的气体种类和浓度，可以有效识别变压器内部的电气故障和热故障，例如局部放电、过热等。温度监测则利用温度传感器实时记录变压器的运行温度，通过对温度变化趋势的分析，可以预防过热故障，保证变压器的安全运行。负荷监测涉及电流和电压的实时测量，帮助分析变压器的负荷情况，优化电力调度，避免过载运行。在变压器在线监测系统中，通过高速通信网络和先进的数据处理算法，监测数据可以实时传输至控制中心进行分析和处理，实现远程监控和智能维护。

例如，某智能变电站配备了一台 220kV 主变压器，其运行状况对整个电网的稳定性和安全性至关重要，为了确保变压器的长期可靠运行，该变电站引入了变压器在线监测系统，通过实时监测关键参数来预防故障和提高运维效率。在油中气体在线监测技术中，采用色谱分析技术，通过油中溶解气体分析（DGA）监测变压器绝缘油中的关键气体浓度，包括氢气、甲烷（ CH_4 ）、乙烷（ C_2H_6 ）、乙烯（ C_2H_4 ）、乙炔（ C_2H_2 ）、一氧化碳（ CO ）和二氧化碳（ CO_2 ）。监测数据显示，正常运行时 H_2 的浓

度应在 150ppm 以下， C_2H_2 应低于 1ppm。在某次巡检中，在线监测系统检测到 H_2 浓度突然升高至 300ppm， C_2H_2 浓度上升至 5ppm。通过对比历史数据和分析气体生成速率，判断变压器内部可能存在电弧故障，立即安排检修，避免了更大的故障发生。并且在该智能变电站中利用超高频（UHF）传感器和特高频（VHF）传感器，对变压器内部的局部放电进行实时监测，传感器安装在变压器的油箱壁及引出线上，通过捕捉局部放电信号来判断绝缘系统的健康状态。在稳定运行状态下，局部放电的放电量应小于 10pC（皮库伦），某次在线监测中，系统记录到某相的局部放电量达到了 50pC，并伴有频繁的脉冲信号。进一步分析发现，放电信号具有特定的时间和频率特征，结合温度和负荷数据，确定是由于变压器绕组绝缘老化导致的放电，及时更换了相关部件。在负荷与温度在线监测中，使用光纤光栅温度传感器（FBG）和负荷传感器实时监测变压器的负荷电流和各部位温度，特别是绕组温度和油顶层温度。正常运行时，绕组温度应保持在 80℃ 以下，油顶层温度应保持在 70℃ 以下，在线监测系统在某次负荷高峰期间检测到绕组温度上升至 95℃，油顶层温度上升至 85℃，通过历史数据分析，发现该情况与变压器负荷过高密切相关。变电站立即采取负荷调整措施，降低了变压器的运行温度，防止了温度过高导致的绝缘老化和故障。

（二）在断路器在线监测中的应用

在智能变电站中对于断路器在线监测通过先进的传感器和监测技术，实时跟踪断路器的运行状态和性能。操动机构作为断路器的重要组成部分，在进行操动机构状态监测中利用位置传感器和行程开关等设备，实时检测断路器的分合闸动作及其机械特性，如操作时间、行程和速度等，这有助于及时发现和处理机械卡滞或磨损等问题。对于断路器机械特性分析则通过振动传感器和加速度计等设备，捕捉断路器在操作过程中的振动和冲击信号，通过信号分析可以评估断路器的健康状态和运行平稳性。而气体压力监测主要针对采用气体绝缘的断路器，利用压力传感器实时监测气体压力和密度变化，确保绝缘介质的有效性，预防由于气体泄漏导致的绝缘故障^[4]。这些在线监测技术不仅能够提供详细的断路器运行数据，还能通过大数据分析和故障诊断算法，预判潜在故障，优化维护策略，实现故障的早期预警和预防性维护。

举例来说，在某智能变电站中，引入了断路器在线

监测系统,通过实时监测高压断路器关键参数来预防故障并优化维护策略,保障电网安全稳定运行。在实际中采用了在线监测技术进行振动与声音的监测,利用加速度传感器和声音传感器实时监测断路器的振动和声音信号,振动信号可以反映机械运行状态,声音信号可以指示是否存在电弧或异响现象。在线监测系统记录到某次操作时,断路器振动异常增加,振幅超过了 0.2 mm/s RMS,并伴有异常的金属碰撞声音。经过分析发现,这是由于某个触头装置出现了接触不良导致的局部振动增加,及时进行了调整和维护,避免了进一步的机械损伤。并采用 SF6 气体密度传感器监测断路器的 SF6 气体压力和密度,在线监测系统记录到 SF6 气体压力急剧下降至 0.3 MPa,提示可能存在 SF6 气体泄漏,通过及时定位和修复泄漏点,避免了 SF6 气体的大量损失和环境污染风险。在该智能变电站中还进行了电流和时间特性在线监测,正常情况下断路器的动作时间应在毫秒级别,并且操作电流波形应符合预定的电流特性曲线,而在实际的监测中发现断路器动作时间明显延长,同时电流波形异常变形,分析后发现是由于某个触头接触不良导致的电弧持续时间延长,通过更换触头组件确保了断路器的正常运行。在该智能变电站中通过多种在线监测技术的综合应用,实现了对高压断路器的全面监控与及时响应。

(三) 在电容器在线监测中的应用

电容器在线监测在智能变电站中具有重要作用,通过多种监测技术实时跟踪电容器的运行状态和健康状况。首先温度监测利用温度传感器记录电容器的运行温度,通过分析温度变化趋势,可以预防因过热引起的绝缘老化或故障。并进行电流监测,通过电流传感器实时测量电容器的工作电流,帮助识别电容器的工作负荷情况,检测过流或不平衡等异常情况,这对保证电容器的正常运行至关重要。电压平衡监测则通过电压传感器监测电容器各相的电压分布情况,确保电容器的电压均衡,避免因电压不平衡导致的电容器损坏或性能下降。电容器在线监测数据通过高速通信网络传输到控制中心,利用先进的数据处理和分析技术,实时分析电容器的运行状态,进行故障诊断和预测维护^[5]。

以某智能变电站为例,在该变电站中电容器在线监测系统主要由传感器模块、数据采集单元、数据传输模块、监控中心组成。在传感器技术中采用高精度的电压互感器,其额定电压为 10kV,传感器的误差在 $\pm 0.2\%$ 以

内,保证了数据的准确性。电流传感器则选择使用霍尔效应电流传感器,可以在宽频带内精确测量电容器的工作电流,该电容器的额定电流为 200A,传感器的精度可达到 $\pm 0.5\%$ 。并采用热敏电阻监测电容器内部和外部的温度变化,传感器的精度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,对于电容器运行温度在 40°C 至 80°C 之间的变化能够准确捕捉。在监测周期中,每一个月内,系统会记录每个电容器的运行数据,包括运行电压在 9.8kV—10.2kV 之间的波动,电流在 190A—210A 之间的变化,温度在 45°C — 75°C 之间的变化。系统通过分析这些数据,发现某一电容器在连续三天内出现电流异常波动,超过 $\pm 5\%$,且温度异常升高,超过 75°C ,随即生成报警信息,提示运维人员进行现场检查。根据监控系统的报警信息,运维人员及时对异常电容器进行了检查,发现其内部存在轻微过热现象,可能导致绝缘性能下降。通过在线监测数据的支持,运维人员决定对该电容器进行预防性维护,避免了可能的故障扩展,节约了维护成本。

总结:

目前电力系统规模的扩大和电力需求的增长,使智能变电站的建设得到进一步发展,而变电设备作为智能变电站中重要的组成部分,对其运行状态的监测直接影响到智能变电站运行的安全性及可靠性。在此背景下通过先进的传感器技术和数据分析手段,在线监测系统能够实时采集变电设备的运行状态,及时预警潜在的故障,并提供数据驱动的维护建议,从而显著提升了变电站的运行可靠性和安全性。在线监测技术的应用也为智能电网的全面实现提供了坚实的基础,助力电力系统向更加自动化、智能化方向发展。

参考文献:

- [1]王亮,向开榜,曹飞.输变电设备在线监测技术的研究及应用[J].自动化应用,2023,64(S2):56-58.
- [2]高玮,李轩,李灿.变电设备在线监测技术在智能变电站的应用研究[J].光源与照明,2023,(06):159-161.
- [3]张颖慧,宋琦,吕修桐,田源.输变电设备的在线监测技术应用[J].电子技术,2023,52(06):154-155.
- [4]朱永灿,张鹏,田毅,黄新波.变电设备在线监测技术中的同步采集触发方法对比分析[J].中国电力,2022,55(03):64-73.
- [5]田嘉瑞.电力系统变电设备在线监测技术应用研究[J].现代工业经济和信息化,2020,10(10):97-98.