

高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用研究

李 升

中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 滨海新区 300450

摘要: 高压电力设备在线监测技术依托实时参数获取与分析判断设备状态。本文先阐述其核心理论、分类与构成要素,接着分析在变压器、断路器等变电站设备运维中的具体应用方向,指出技术、运维适配、数据处理层面关键问题,最后从技术优化、运维流程适配、数据应用体系三方面提出应用优化路径,助力变电站安全稳定运行与运维水平提升。

关键词: 高压电力设备; 在线监测技术; 变电站运维; 故障诊断; 优化路径

引言: 变电站是电力系统关键枢纽,高压电力设备稳定运行意义重大。传统运维方式依赖定期检修,存在效率低、针对性差等问题。高压电力设备在线监测技术能实时获取设备状态参数,提前发现故障隐患,实现状态检修,提高运维效率与可靠性。深入研究该技术在变电站运维中的应用,对保障电力系统安全稳定运行具有重要现实意义。

1 高压电力设备在线监测技术核心理论与分类

1.1 在线监测技术核心原理

高压电力设备在线监测技术依托于对设备运行状态参数的实时获取与分析。在电力设备运行过程中,诸多因素会引发设备状态变化,如电气应力、热应力、机械应力等^[1]。这些应力作用会使设备内部物理、化学特性发生改变,进而反映在各种可测量的参数上。例如,设备绝缘老化会导致绝缘电阻下降、介质损耗增加;机械部件磨损会引发振动信号变化。在线监测技术通过传感器实时采集这些反映设备状态的参数,如电压、电流、温度、振动、局部放电等信号,将这些模拟信号转换为数字信号后传输至数据处理单元。数据处理单元运用特定算法对信号进行分析处理,提取能表征设备状态的特征量,并与正常状态下的特征量进行对比,从而判断设备是否存在故障隐患以及故障的严重程度,为设备维护决策提供依据。

1.2 高压电力设备在线监测技术分类

从监测对象角度划分,可分为变压器在线监测、断路器在线监测、电缆在线监测等。不同设备结构和运行特点不同,监测重点也有差异,如变压器侧重监测油中气体、局部放电等,油中氢气含量正常一般在 $10\mu\text{L/L}$ 以下,若超过 $150\mu\text{L/L}$ 则可能存在故障;断路器主要关注机械特性参数。按监测信号类型分类,有电气量监测,像电压、电流、功率等;非电气量监测,涵盖温度、振动、

噪声、局部放电等,变压器局部放电正常值通常小于 100pC ,若超过 500pC 则需重点关注。依据数据传输方式,分为有线传输和无线传输。有线传输稳定性高、抗干扰能力强,但布线复杂,传输距离一般在 1000m 以内;无线传输灵活便捷,适用于布线困难场景,有效传输距离可达 500m 。

1.3 在线监测技术核心构成要素

传感器是在线监测的基础,负责将设备各种物理量转换为可测量的电信号,其精度和可靠性直接影响监测结果准确性。例如,温度传感器精度应达到 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,以确保准确获取设备温度。数据采集系统对传感器输出的信号进行采集、调理和转换,确保信号质量满足分析要求,采样频率一般设置为 1000Hz 以上。数据传输网络将采集到的数据可靠传输至监控中心,传输速度和稳定性至关重要,传输速率应不低于 10Mbps 。数据处理与分析单元运用先进算法对海量数据进行处理,挖掘数据潜在信息,实现故障诊断和状态评估,算法处理时间应控制在 1s 以内。监控终端为用户提供直观的操作界面,展示设备运行状态和监测结果,方便用户进行决策和管理,界面响应时间应小于 0.5s 。

2 高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的具体应用方向

2.1 变压器在线监测技术应用

变压器在变电站中占据核心地位,对电力系统稳定运行意义重大。在线监测技术围绕变压器多方面性能展开。油中溶解气体分析是关键手段之一,变压器内部故障会产生不同种类气体,如氢气、甲烷、乙烷等,通过持续监测这些气体含量及变化趋势,能提前察觉潜伏性故障,像过热故障、放电故障等^[2]。正常时,变压器油中氢气含量小于 $10\mu\text{L/L}$,甲烷含量小于 $20\mu\text{L/L}$,当氢气含量超过 $150\mu\text{L/L}$ 、甲烷含量超过 $100\mu\text{L/L}$ 时,可能存在过

热故障。局部放电监测利用高灵敏度传感器捕捉变压器内部绝缘缺陷引发的微弱放电信号,依据放电脉冲的波形、频谱等特征,精准判断绝缘劣化程度,正常变压器局部放电量小于100pC,若超过500pC则需进一步检查。绕组温度监测借助光纤测温等技术,实时获取绕组各部位温度,防止因局部过热导致绝缘加速老化,绕组温度一般不应超过95℃。振动分析则通过检测变压器振动信号,分析铁芯、绕组等机械结构运行状态,及时发现铁芯松动、绕组变形等机械故障隐患,正常变压器振动幅值在0.1-0.3毫米之间,若超过0.5毫米则可能存在机械故障,为变压器安全运行提供有力保障。

2.2 断路器在线监测技术应用

断路器承担着控制和保护变电站电路的重任。在线监测技术聚焦于断路器机械特性与电气性能。机械特性监测涵盖分合闸时间、速度、行程等参数,这些参数的精准测量能反映断路器操作机构的工作状态,分合闸时间正常在30-60毫秒之间,若参数出现偏差,如分合闸时间超过80毫秒,可能预示机械部件磨损、弹簧疲劳或润滑不良等问题,影响断路器正常分合闸动作。电气性能监测包括触头温度、回路电阻等,触头温度过高会加速触头材料氧化,导致接触电阻增大,正常触头温度不超过70℃,回路电阻正常值在20-50微欧之间,若回路电阻超过100微欧则可能引发局部过热,通过实时监测这些电气参数,可及时发现潜在故障隐患,确保断路器可靠动作。

2.3 互感器在线监测技术应用

互感器是变电站实现电量测量和继电保护的关键设备。在线监测技术着重关注互感器误差特性与绝缘状态。误差特性监测通过高精度测量装置,实时获取互感器的比差和角差,确保测量数据的准确性,互感器比差正常在±0.1%以内,角差正常在±5分以内,避免因误差超标影响计量准确性和保护动作的正确性。绝缘状态监测采用介质损耗测试、局部放电检测等方法,评估互感器绝缘性能,正常互感器介质损耗小于0.005,局部放电量小于100pC,及时发现绝缘老化、受潮等缺陷,预防绝缘击穿事故发生。

2.4 绝缘子及套管在线监测技术应用

绝缘子及套管绝缘性能对变电站安全运行至关重要。在线监测技术主要监测泄漏电流、绝缘电阻等参数。泄漏电流增大可能表明绝缘子表面污秽积累或绝缘性能下降,正常绝缘子泄漏电流小于0.1毫安,若超过0.5毫安则需关注;绝缘电阻降低则直接反映绝缘劣化程度,正常绝缘子绝缘电阻在5000兆欧以上,若低于1000兆欧则需进一步检查。通过实时监测这些参数,结合环境因素分

析,可准确判断绝缘子及套管的绝缘状态,及时采取清扫、更换等措施,防止闪络等事故发生。

2.5 电缆线路在线监测技术应用

电缆线路在变电站中广泛分布,运行环境复杂。在线监测技术关注电缆温度、局部放电、护层电流等参数。温度异常可能预示电缆过载或接头接触不良,电缆正常运行温度不超过60℃,若超过80℃则需检查;局部放电监测可发现电缆绝缘内部缺陷,正常电缆局部放电量小于10pC,若超过50pC则需关注;护层电流监测能检测电缆金属护层接地状况,正常护层电流小于1安培,若超过5安培则可能存在接地故障。通过综合分析这些参数,可及时发现电缆线路潜在故障,保障电缆线路安全可靠供电。

3 高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用关键问题

3.1 技术层面关键问题

高压电力设备在线监测技术涉及多学科交叉,在技术实现上存在诸多挑战。传感器精度与稳定性是首要问题,变电站环境复杂,存在强电磁干扰、高温高湿等恶劣条件,这对传感器的性能提出极高要求^[3]。若传感器精度不足,采集的数据误差较大,会直接影响后续故障诊断的准确性;稳定性欠佳则可能导致数据波动异常,无法真实反映设备运行状态。监测技术的全面性也有待提升,目前多数监测技术侧重于单一参数或局部状态,难以对设备整体健康状况进行综合评估。例如,仅监测变压器油中气体,无法全面掌握变压器绕组、铁芯等部件的运行情况。不同监测技术之间的兼容性同样关键,变电站内设备种类繁多,需多种监测技术协同工作,若技术之间存在兼容性问题,会导致数据传输不畅、分析困难,降低监测系统整体效能。

3.2 运维适配层面关键问题

在线监测技术与变电站运维流程的适配至关重要。运维人员对在线监测技术的接受程度和应用能力参差不齐,部分人员习惯传统运维方式,对新技术存在抵触情绪,或缺乏相关培训,无法熟练操作监测系统,导致技术优势难以充分发挥。监测系统的运维管理规范尚不完善,从设备安装调试、日常巡检到故障处理,缺乏统一标准,容易出现管理漏洞,影响监测数据可靠性和系统稳定性。在线监测技术与变电站现有运维资源的整合也存在困难,如与设备检修计划、备品备件管理等环节的衔接不够紧密,无法实现基于状态监测的精准运维,造成资源浪费。

3.3 数据处理层面关键问题

在线监测产生海量数据,数据处理面临巨大压力。

数据质量参差不齐,受传感器故障、环境干扰等因素影响,数据中存在大量噪声和异常值,若不进行有效处理,会干扰故障诊断结果。数据挖掘与分析能力有限,目前多数监测系统仅能实现简单数据统计和阈值报警,难以从海量数据中提取有价值信息,挖掘设备故障潜在规律和演化趋势。数据安全与隐私保护同样不容忽视,监测数据包含变电站关键运行信息,一旦泄露可能引发严重后果,需建立完善的数据安全防护体系,确保数据在传输、存储和使用过程中的安全性。

4 高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用优化路径

4.1 技术优化方向

提升传感器性能是技术优化的关键环节。针对变电站复杂环境,研发具备高精度、强稳定性、抗干扰能力强的新型传感器^[4]。例如,采用先进的材料与制造工艺,降低传感器在强电磁场、高温高湿条件下的误差,确保采集数据的准确性与可靠性。同时,推动多参数集成传感器的发展,实现对设备多种状态参数的同步监测,全面反映设备运行状况。加强监测技术的融合创新,将电气、机械、化学等多领域监测技术有机结合,构建综合监测体系。比如,把局部放电监测与振动分析、温度监测相结合,从不同角度分析设备故障特征,提高故障诊断的准确性与全面性。此外,引入人工智能与机器学习算法,对海量监测数据进行深度挖掘与分析,自动识别设备故障模式,预测故障发展趋势,实现智能化监测与预警。

4.2 运维流程适配优化

重新梳理变电站运维流程,将在线监测技术深度融入其中。制定基于状态监测的运维策略,根据设备实时状态数据,动态调整设备检修周期与内容,实现从定期检修向状态检修的转变,提高运维效率与针对性。加强运维人员培训,提升对在线监测技术的认知与应用能力。开展系统化培训课程,涵盖监测系统操作、数据分析、故障诊断等方面,使运维人员能够熟练掌握新技术,准确解读监测数据,及时处理设备异常。建立完善的运维管理规范,明确在线监测设备从安装调试、日常巡检到故障处理的各个环节的标准与流程,确保运维工作标准化、规范

化。同时,加强与其他部门的沟通协作,如与调度部门共享设备状态信息,协同制定运行方案,保障变电站安全稳定运行。

4.3 数据应用体系优化

构建统一的数据管理平台,整合来自不同监测设备与系统的数据,实现数据的集中存储、管理与共享。采用大数据存储技术,解决海量数据存储难题,确保数据完整性与可追溯性。加强数据质量管控,建立数据清洗与预处理机制,去除噪声与异常值,提高数据质量。运用先进的数据分析技术,深入挖掘数据潜在价值。除了传统的统计分析方法,引入深度学习、关联分析等技术,发现数据之间的内在联系,揭示设备故障规律^[5]。建立数据可视化展示系统,将复杂的监测数据以直观的图表、图像等形式呈现,方便运维人员快速了解设备状态,做出科学决策。此外,应注重数据安全与隐私保护,采用加密技术、访问控制等手段,保障数据在传输、存储与使用过程中的安全性,防止数据泄露与滥用。

结束语

高压电力设备在线监测技术在变电站运维中发挥着关键作用,能实时掌握设备状态,为运维决策提供科学依据。虽在技术、运维适配和数据处理等方面存在关键问题,但通过技术优化、运维流程适配优化和数据应用体系优化等路径,可有效提升监测技术应用效果。这有助于提高变电站运维水平,保障电力设备安全稳定运行,推动电力系统向智能化、高效化方向发展。

参考文献

- [1]董典帅.高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用[J].科技视界,2024,14(8):25-27.
- [2]乔真,潘利.高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用[J].中国科技纵横,2024(24):11-13.
- [3]魏霖,裴宇豪.高压电力设备在线监测技术在变电站运维中的应用研究[J].通信电源技术,2024,41(1):231-233.
- [4]王云涛,徐茂林,郭小双.智能电网中的变电设备运维技术研究[J].仪器仪表用户,2025,32(1):21-23.
- [5]樊家齐,王进.变电站运维管理中高压电力设备在线监测技术的应用[J].电脑校园,2025(18):100-102.