

电力输变电设备状态监测与预警系统研究

姚广谦

宁夏天元锰业集团有限公司 宁夏 中卫 755100

摘要：随着电力行业的快速发展，输变电设备的安全稳定运行对于保障电力供应至关重要。电力输变电设备状态监测与预警系统作为实现设备智能化管理、预防故障发生的关键技术手段，受到了广泛关注。本文深入探讨了电力输变电设备状态监测与预警系统的相关内容，包括主要监测技术、预警模型与方法以及系统在实际应用中面临的挑战与解决方案，旨在为该系统的进一步发展和完善提供理论支持与实践参考。

关键词：电力输变电设备；状态监测；预警系统

1 引言

电力作为现代社会的重要能源，其可靠供应直接影响经济发展与民生质量。输变电设备在电力系统中承担电能传输与分配的关键任务，但因长期运行、环境影响和设备老化，易发故障，造成停电损失。因此，如何实时掌握设备状态、提前发现隐患并采取预防措施，成为电力行业亟需解决的问题。电力输变电设备状态监测与预警系统应运而生，通过对关键参数的实时监测与分析，及时发现异常并预警，为设备维护提供科学依据，推动从定期检修向状态检修转变，提升设备运行的可靠性与经济性。

2 电力输变电设备状态监测的主要技术

2.1 传感器技术

传感器是状态监测系统的前端设备，负责将设备的物理量（如温度、压力、振动、电流、电压等）转换为电信号或其他可测量的信号。目前，常用的传感器技术包括温度传感器、振动传感器、电流互感器、电压互感器等。温度传感器可以实时监测设备的温度变化，判断设备是否存在过热现象；振动传感器可以检测设备的振动情况，反映设备的机械状态；电流互感器和电压互感器则用于测量设备的电流和电压参数，分析设备的电气性能。随着传感器技术的不断发展，新型传感器如光纤传感器、无线传感器等也逐渐应用于输变电设备状态监测中，具有抗干扰能力强、安装方便等优点。

2.2 信号处理技术

传感器采集到的原始信号往往包含大量的噪声和干扰，需要进行信号处理才能提取有用的信息。常用的信号处理技术包括滤波、傅里叶变换、小波变换等。滤波技术可以去除信号中的噪声，提高信号的信噪比；傅里叶变换可以将时域信号转换为频域信号，分析信号的频率成分；小波变换则具有多分辨率分析的特点，能够更

好地处理非平稳信号，提取信号的局部特征。例如，在对变压器的局部放电信号进行分析时，小波变换可以有效地提取局部放电脉冲的特征，为故障诊断提供依据。

2.3 通信技术

状态监测系统需要将传感器采集到的数据实时传输到监控中心，因此通信技术至关重要。目前，常用的通信技术包括有线通信和无线通信。有线通信如光纤通信具有传输速率高、抗干扰能力强等优点，但布线成本较高；无线通信如ZigBee、LoRa、4G/5G等则具有安装方便、灵活性强的特点，适用于一些布线困难的场合^[1]。在实际应用中，可以根据监测设备的特点和现场环境选择合适的通信技术，也可以采用有线与无线相结合的混合通信方式，以满足数据传输的需求。

2.4 数据存储与管理技术

状态监测系统会产生大量的监测数据，这些数据需要进行有效的存储和管理，以便后续的分析 and 查询。常用的数据存储技术包括关系型数据库（如MySQL、Oracle）和非关系型数据库（如MongoDB、Redis）。关系型数据库适用于结构化数据的存储和管理，具有数据一致性和完整性好的优点；非关系型数据库则适用于海量、半结构化或非结构化数据的存储，具有扩展性强、读写性能高的特点。此外，还需要建立数据管理系统，对数据进行分类、索引和备份，确保数据的安全性和可靠性。

3 电力输变电设备状态预警模型与方法

3.1 基于阈值的预警模型

基于阈值的预警模型是最简单、最常用的预警方法之一。它通过设定设备关键参数的正常范围阈值，当监测数据超过或低于阈值时，系统发出预警信号。例如，对于变压器的油温，可以设定一个上限阈值，当油温超过该阈值时，系统认为变压器可能存在过热故障，发出

预警。这种方法的优点是简单直观,易于实现,但缺点是阈值的设定往往依赖于经验,缺乏灵活性,不能充分考虑设备的个体差异和运行工况的变化。

3.2 基于统计分析的预警模型

基于统计分析的预警模型通过对设备的历史监测数据进行统计分析,建立设备的正常运行模型,然后根据当前监测数据与正常运行模型的偏差程度来判断设备是否存在异常。常用的统计分析方法包括均值、方差、概率分布等^[2]。例如,可以计算设备某一参数在一定时间内的均值和标准差,然后根据正态分布原理确定该参数的正常范围,当当前监测数据超出正常范围时,发出预警。这种方法考虑了设备的历史运行数据,能够反映设备的整体运行趋势,但对于非线性、非平稳的设备运行状态,预警效果可能不理想。

3.3 基于机器学习的预警模型

随着人工智能技术的发展,机器学习算法在设备状态预警中得到了广泛应用。基于机器学习的预警模型通过对大量的设备监测数据进行学习和训练,建立设备状态与监测参数之间的非线性映射关系,从而实现对设备状态的准确预测和预警。常用的机器学习算法包括支持向量机(SVM)、人工神经网络(ANN)、决策树、随机森林等。例如,支持向量机可以通过寻找最优分类超平面,将设备的正常状态和异常状态进行区分;人工神经网络则具有强大的非线性拟合能力,能够自动学习设备运行状态的复杂特征^[3]。机器学习预警模型具有较高的准确性和适应性,但需要大量的标注数据进行训练,且模型的解释性相对较差。

3.4 基于深度学习的预警模型

深度学习是机器学习的一个分支,它通过构建深层神经网络模型,能够自动提取数据的高层特征,在图像识别、语音识别等领域取得了巨大成功。在电力输变电设备状态预警中,深度学习算法也逐渐展现出其优势。常用的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体(如LSTM、GRU)等。例如,卷积神经网络可以用于处理设备的振动信号图像,提取信号的局部特征;循环神经网络则适用于处理时间序列数据,能够捕捉设备运行状态的时序变化规律。深度学习预警模型具有更强的特征提取能力和更高的预警准确性,但计算复杂度较高,需要强大的计算资源支持。

4 应用案例:国家电网江苏电力公司

4.1 案例背景

江苏地区经济发达,用电负荷大,电网规模庞大且结构复杂,输变电设备数量众多。传统的人工巡检和定

期检修模式难以满足对设备状态实时掌握和精准运维的需求。设备故障不仅会导致停电事故,影响供电可靠性,还可能引发安全事故。为提升电网智能化运维水平,保障电网安全稳定运行,江苏电力公司于2018年启动了输变电设备智能状态监测与全息感知预警系统建设项目。

4.2 系统构成

4.2.1 传感器网络

变压器监测:在变压器上安装了油中溶解气体在线监测装置,可实时监测氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等特征气体的含量,以及微水含量和油温等参数。同时,部署了局部放电传感器,用于检测变压器内部的局部放电活动,及时发现绝缘缺陷。

断路器监测:安装了断路器机械特性传感器,能够精确测量断路器的分合闸时间、速度、行程等机械参数,以及储能电机电流等辅助参数,判断断路器的机械状态是否正常。

输电线路监测:在输电线路关键区段安装了分布式光纤测温系统,可实时监测线路导线的温度变化,及时发现过热点。同时,安装了导线微风振动监测装置和舞动监测装置,对导线的振动和舞动情况进行实时监测,预防导线疲劳损伤和倒塔事故。

4.2.2 数据采集与传输系统

各类传感器采集的数据通过现场的数据采集终端进行集中处理和转换。数据采集终端具备强大的数据处理能力和存储功能,可对原始数据进行初步分析和筛选,提取有效信息。采用无线专网和光纤通信相结合的方式,将数据采集终端采集到的数据实时传输至省级电力公司的状态监测主站系统。无线专网保证了数据传输的实时性和可靠性,光纤通信则用于对数据传输要求极高的关键监测点。

4.2.3 状态监测主站系统

主站系统具备数据存储、处理、分析和展示功能。它接收来自各个数据采集终端的监测数据,并将其存储在大型数据库中,以便进行历史数据查询和分析。运用先进的数据分析算法和模型,如机器学习算法、专家系统等,对监测数据进行深度挖掘和分析,实时评估设备的运行状态,判断设备是否存在故障隐患,并预测设备的发展趋势。提供直观的可视化界面,通过地图、图表、报表等多种形式展示设备的运行状态和监测数据,方便运维人员实时掌握设备情况。

4.3 应用效果

4.3.1 故障预警与预防

2020年,系统对某220kV变电站的一台主变压器进行监测时,发现油中乙炔气体含量出现缓慢增长趋势,同时局部放电信号也有所增强。系统立即发出预警,运维人员根据预警信息对该变压器进行了进一步的诊断性试验,最终确定变压器内部存在局部放电缺陷。由于发现及时,提前安排了停电检修,避免了变压器故障扩大,防止了一起可能发生的重大停电事故。在输电线路方面,系统通过分布式光纤测温系统监测到某条500kV输电线路的某一区段导线温度异常升高,超过了正常运行温度阈值。运维人员根据预警信息迅速赶赴现场进行检查,发现是由于线路下方树木生长过快,树枝与导线距离过近导致放电发热。及时对树木进行了修剪,消除了安全隐患,保障了线路的安全运行。

4.3.2 优化检修策略

传统的定期检修模式存在“过修”和“欠修”的问题,而该系统实现了基于设备状态的检修。通过对设备运行状态的实时监测和分析,能够准确判断设备的健康状况,合理安排检修计划。例如,对于状态良好的设备,适当延长检修周期,减少不必要的停电检修;对于存在故障隐患的设备,及时安排检修,提高检修的针对性和有效性。据统计,该系统应用后,江苏电力公司的输变电设备检修工作量减少了约30%,检修成本降低了约20%,同时设备的可用率提高了约5%。

4.3.3 提升应急响应能力

当电网发生故障时,系统能够快速准确地定位故障设备,并提供详细的故障信息和设备状态数据,为应急抢修提供有力支持。在一次雷击导致输电线路跳闸事故中,系统在故障发生后几秒钟内就准确判断出了故障区段,并将故障位置、故障类型等信息实时推送给运维人员。运维人员根据系统提供的信息迅速组织抢修力量,快速恢复了线路供电,将停电时间缩短了约60%,大大提高了电网的应急响应能力和供电可靠性。

5 电力输变电设备状态监测与预警系统面临的挑战与解决方案

5.1 面临的挑战

首先是数据质量问题,传感器精度、环境干扰及通信故障等因素导致的数据噪声、缺失值和异常值影响了预警模型的准确性。其次是模型适应性差,由于不同设

备的运行特性和故障模式各异,现有预警模型难以全面覆盖且易受设备运行工况变化的影响。再者是系统集成难度大,涉及多个子系统的协同工作需要高效集成,这增加了实现的复杂度。最后是安全与隐私问题,保护大量电力设备运行数据的安全性和隐私至关重要,任何泄露都可能对电力系统造成威胁。

5.2 解决方案

通过使用高精度传感器并定期校准维护来提高数据采集的准确性。同时,利用数据清洗、插补和异常检测技术进行数据预处理,去除噪声和异常值,并填补缺失值。采用迁移学习和集成学习等方法增强预警模型的泛化能力和适应性,使其能更好地应对设备差异和运行工况的变化。建立在线更新机制,根据新监测数据不断调整模型参数,提高其准确性。制定统一的数据接口标准和通信协议以实现各子系统之间的无缝集成。采取模块化设计思想,将系统划分为多个功能模块,简化开发、维护和扩展流程。运用加密技术确保数据在传输和存储过程中的安全性,防止数据泄露。建立访问控制机制,为不同用户设定不同的访问权限,确保数据安全的同时遵守相关法律法规,保障用户隐私。

结语

电力输变电设备状态监测与预警系统是保障电力系统安全稳定运行的关键技术,具有重要现实意义与广阔应用前景。当前系统已初步实现对设备状态的实时监测与预警,但仍面临数据质量、模型适应性及安全隐私等挑战。未来,随着物联网、AI等技术发展,系统将更智能、集成与自动化,提升监测精度与预警能力,并推动电力系统全面智能化管理。持续技术创新将助力电力行业可持续发展。

参考文献

- [1]陶小丽.电力输变电设备状态监测系统研究[C]//江西省工程师联合会.2024年智能工程与经济建设学术会议论文集(工程管理与经济建设专题).舟山市启城新能源技术有限公司,2024:568-571.
- [2]陈纪.电力输变电设备状态监测系统研究与实现[D].电子科技大学,2021.
- [3]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.