

电力系统设备状态监测与故障诊断技术

郑华峰

浙江英策电力工程有限公司 浙江衢州 324000

摘要:近年来,故障诊断技术发展迅速。早期,主要依赖人工经验和简单的检测工具进行故障排查,效率低且准确性有限。随着信息技术、传感器技术以及数据分析技术的不断进步,故障诊断技术逐渐走向智能化、自动化。在这样的背景下,电力系统设备状态监测与故障诊断技术经历了从简单到复杂、从传统到智能的发展历程。早期,主要依靠人工定期巡检和简单的仪器检测来获取设备状态信息,这种方式效率低、准确性差且难以实时监测设备状态。本研究旨在深入探讨电力系统设备状态监测与故障诊断技术,分析现有技术的优势与不足,探索新的技术方向,以提高电力系统设备的运行可靠性和故障诊断的准确性,为电力行业的可持续发展提供技术支持。

关键词:电力系统;设备状态;检测;故障诊断

引言

电力系统设备状态监测与故障诊断技术因此应运而生且至关重要。通过实时监测设备状态,能够提前察觉潜在故障隐患,及时采取针对性措施,避免故障扩大,从而减少停电时间与经济损失,保障电力系统的安全稳定运行。^[1]这不仅关乎电力企业的经济效益,更对整个社会的正常运转和人们的生活质量有着深远影响。

一、电力系统设备状态监测技术

在线监测技术是电力系统设备状态监测的重要手段,它基于多种物理原理,能够实时、连续地获取设备运行状态信息。例如,对于电气设备,利用电磁感应原理监测其电流、电压变化,通过分析这些参数的波动情况,可判断设备是否存在异常。在高压输电线路中,通过安装在线监测装置,实时监测导线的温度、弧垂以及绝缘子的泄漏电流等参数。当导线温度过高时,可能预示着线路存在过载或接触不良等问题;绝缘子泄漏电流异常增大,则可能表示绝缘子出现老化或破损。在线监测技术的应用,大大提高了设备状态监测的及时性和准确性,能够在故障发生初期及时发出预警信号。

离线监测技术是在设备停电状态下进行的检测方式,具有检测精度高、能够深入分析设备内部状况等特点。例如,通过对变压器进行绝缘电阻测试、介质损耗

因数测量等离线试验,可以准确评估变压器的绝缘性能。然而,离线监测技术也存在明显的局限性。一方面,它需要设备停电进行检测,这会影响电力系统的正常供电,尤其是对于一些重要的枢纽变电站和输电线路,频繁停电检测会对电力供应造成较大影响;另一方面,离线监测只能获取设备在某一时刻的状态信息,无法实时反映设备在实际运行过程中的动态变化情况。

光纤传感技术以光纤为敏感元件,具有抗电磁干扰、耐腐蚀、精度高、可分布式测量等优点。例如,利用光纤光栅传感器可实现对温度、应变等参数的精确测量,广泛应用于电力电缆、杆塔等设备的状态监测。

无线传感器网络由大量分布式的无线传感器节点组成,可实现设备状态数据的远程采集和传输。这些节点体积小、功耗低,布置灵活,能有效解决传统有线监测方式布线困难的问题,提高监测的便捷性和实时性。

状态监测数据采集与处理是电力系统设备状态监测的关键环节。数据采集主要依靠各类传感器,常见的数据处理方法包括滤波、降噪、特征提取等。借助大数据分析和云计算技术,可对海量的设备状态数据进行深度挖掘和分析,为设备状态评估和故障诊断提供更全面、准确的依据。

二、故障诊断技术的分类与原理

信号处理与分析方法是故障诊断的基础。通过对采集到的设备状态信号进行分析和处理,能够提取出与故障相关的特征信息。时域分析方法通过直接分析信号的幅值、频率、相位等参数随时间的变化情况,判断设

作者简介:郑华峰(1987.2.8-),男,汉族,浙江省遂昌县人,大专,工程师,研究方向:电力工程。

备是否存在异常。例如，当电机的振动信号幅值突然增大时，可能表示电机存在机械故障。频域分析方法则是将时域信号通过傅里叶变换等方法转换到频域，分析信号的频率成分。不同的故障类型往往对应特定的频率特征，通过识别这些频率特征，可以准确判断故障类型。例如，变压器铁芯故障会在特定频率处出现明显的谐波分量。

人工智能在故障诊断领域的应用为电力系统设备故障诊断带来了新的突破。神经网络具有强大的非线性映射能力和自学习能力，能够自动从大量的故障样本数据中学习故障模式和特征。通过对历史故障数据和正常运行数据的学习训练，神经网络可以构建故障诊断模型，对新的设备状态数据进行分类和诊断。支持向量机也是一种常用的人工智能故障诊断方法，它通过寻找最优分类超平面，将不同类别的数据分开，具有较好的泛化能力和抗干扰能力。在电力系统设备故障诊断中，人工智能技术能够处理复杂的非线性问题，提高故障诊断的准确性和智能化水平。

故障诊断系统的构建是一个复杂的过程，需要综合考虑多个因素。首先要确定诊断系统的架构，包括数据采集层、数据处理层和诊断决策层。数据采集层负责采集设备状态数据，数据处理层对采集到的数据进行处理和特征提取，诊断决策层根据处理后的数据进行故障诊断和决策。在构建过程中，要注重系统的可靠性和稳定性，采用冗余设计和容错技术，确保在部分设备出现故障时系统仍能正常运行。^[2]同时，为了提高诊断系统的性能，还需要不断对其进行优化。例如，通过引入新的算法和模型，提高诊断的准确性和效率；优化系统的硬件配置，加快数据处理速度。

三、电力系统设备状态监测与故障诊断的关键技术

(一) 高精度传感器与数据采集技术是实现准确状态监测与故障诊断的前提

高精度传感器能够精确地获取设备的各种物理量信息，其精度直接影响到后续的诊断结果。例如，在监测变压器油温时，高精度的温度传感器能够将温度测量误差控制在极小范围内，准确反映变压器的实际运行温度。同时，为了满足电力系统大规模设备状态监测的需求，数据采集技术需要具备高速、大容量的数据采集能力。采用高速数据采集卡和分布式采集系统，可以实现对多个设备状态数据的同时采集，确保数据的实时性和完整性。

(二) 故障诊断模型的构建与训练是故障诊断的核心环节

在构建模型时，需要根据不同设备的故障特点和运行特性，选择合适的算法和模型结构。例如，对于具有复杂非线性关系的电机故障诊断，可以采用深度神经网络模型；对于数据量较小且故障模式相对简单的设备，可以采用决策树等相对简单的模型。模型训练则需要大量的高质量故障样本数据和正常运行数据。通过对这些数据的学习，模型能够掌握设备正常运行和故障状态下的特征规律，从而实现准确的故障诊断。在训练过程中，还需要采用合适的优化算法，如随机梯度下降算法等，调整模型的参数，提高模型的性能。

(三) 实时性与准确性平衡

在电力系统设备状态监测与故障诊断中，实时性和准确性都至关重要。一方面，需要及时获取设备的状态信息，快速诊断故障，以便采取相应的措施；另一方面，诊断结果必须准确可靠，避免误判。然而，在实际应用中，要同时满足实时性和准确性的要求并非易事，需要在数据采集、传输、处理和分析等环节进行优化，平衡两者之间的关系。

(四) 设备状态评估标准

目前，电力系统设备状态评估标准尚未完全统一和完善。不同类型的设备、不同的运行环境和工况下，设备状态评估的指标和方法存在差异。制定科学合理、统一规范的设备状态评估标准，对于准确判断设备状态、合理安排维护计划具有重要意义。^[3]这需要综合考虑设备的运行特性、老化规律、故障模式等多方面因素，开展深入的研究和实践。

(五) 系统兼容性与扩展性

电力系统规模庞大，设备种类繁多，现有的监测和诊断系统往往存在兼容性和扩展性不足的问题。新的监测技术和诊断方法不断涌现，如何使这些新技术与现有系统兼容，实现无缝对接，并确保系统具有良好的扩展性，以适应未来电力系统的发展需求，是亟待解决的问题。

四、先进技术在状态监测与故障诊断中的应用

近年来，人工智能与机器学习技术的迅猛发展为电力系统设备状态监测与故障诊断带来了新的机遇。深度学习在故障预测中的应用尤为突出，通过卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)等模型，可以从大量历史数据中提取深层次特征，实现更为精准的故障预警。

强化学习则通过与环境交互优化控制策略，提升设备状态监测的实时性和有效性。^[4]

大数据与云计算技术也为故障诊断提供了强大的技术支持。大数据分析能够在海量数据中挖掘潜在的故障模式和规律，通过聚类分析、回归分析等手段实现故障的快速识别。云计算则使得分布式计算和存储成为可能，极大地提高了数据处理速度和容量，从而更好地支持实时状态监测和多点数据同步。

物联网技术的应用进一步增强了电力系统的智能性和互联性。通过部署物联网设备，可以实现设备状态的实时监测和远程诊断。传感器节点通过无线通信技术将设备数据传输至云端，经过云端处理后再反馈给终端用户，形成闭环控制。这种方式不仅提高了数据采集的可靠性，还实现了跨地域、跨平台的信息共享，促进了设备状态监测和故障诊断的协同工作。

五、技术发展趋势与挑战

物联网与大数据技术在电力系统中的应用正逐渐改变着电力系统设备状态监测与故障诊断的模式。物联网技术能够实现设备之间的互联互通，将各种电力设备接入网络，实现数据的实时共享和传输。通过在电力设备上安装智能传感器和通信模块，设备可以将状态数据实时上传到云端服务器，供运维人员随时查看和分析。大数据技术则可以对海量的设备状态数据进行存储、管理和分析。利用大数据分析算法，可以挖掘出数据中隐藏的规律和趋势，为故障诊断和预测提供更准确的依据。例如，通过对历史故障数据和实时运行数据的大数据分析，可以提前预测设备可能出现的故障类型和时间，实现预防性维护。

故障诊断技术的智能化与自动化发展是未来的重要趋势。随着人工智能技术的不断进步，故障诊断将更加智能化和自动化。智能故障诊断系统能够自动识别设备故障类型、分析故障原因，并给出相应的维修建议。例如，采用深度学习算法的故障诊断系统可以不断学习新的故障模式和特征，提高诊断的准确性和适应性。自动化故障诊断则可以实现故障诊断过程的自动执行，减少人工干预，提高诊断效率。通过自动化的诊断流程，系统可以在短时间内对大量设备进行故障诊断，及时发现潜在故障隐患。

然而，电力系统安全运行面临着诸多挑战。一方面，随着电力系统规模的不断扩大和新技术的广泛应用，电力系统的复杂性日益增加，设备之间的相互影响和耦合关系更加复杂，这给状态监测和故障诊断带来了更大的困难。另一方面，网络安全问题成为电力系统面临的重要挑战。随着电力系统的数字化和智能化发展，电力设备与网络的连接越来越紧密，网络攻击的风险也随之增加。一旦电力系统遭受网络攻击，可能导致设备状态监测数据被篡改、故障诊断系统失效等严重后果，威胁电力系统的安全稳定运行。

结论

本研究对电力系统设备状态监测与故障诊断技术进行了全面深入的探讨。总结了现有监测技术和诊断方法的特点和应用效果，分析了关键技术问题与挑战，并通过典型案例验证了相关技术的有效性。

在技术研究方面，需要进一步加强高精度传感器、数据采集与处理、故障诊断模型等关键技术研究，提高技术的准确性和可靠性。智能化监测系统、数字孪生技术、5G通信技术以及边缘计算与云计算的结合，需要加强电力系统网络安全防护技术的研究，保障电力系统的信息安全。

电力系统设备状态监测与故障诊断技术具有广阔的应用前景。随着技术的不断进步和完善，将进一步提高电力系统的运行可靠性和安全性，降低运维成本，推动电力行业向智能化、高效化方向发展，为社会经济的持续发展提供坚实的电力保障。

参考文献

- [1] 兰延群. 试论高压输电线路电气设计要点[J]. 现代工程项目管理, 2024, 3(12).
- [2] 邵琦. 民航通信网络业务监控系统的设计及应用分析[J]. 电子通信与计算机科学, 2023, 5(7).
- [3] 李元柱, 张传威. 5G移动通信技术在电力通信系统的运用[J]. 数字化用户, 2019, 25(50).
- [4] 宋辉, 陈伟, 李谋杰, 王浩懿. 基于卷积门控循环单元网络的储层参数预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(5).