

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测研究

傅军

国网福建省电力有限公司上杭县供电公司, 福建 上杭 364200

摘 要 : 随着电力系统的不断发展和智能化水平的提高, 变电检修设备的状态监测变得至关重要。本文深入研究了基于智能传感技术的变电检修设备状态监测方法, 分析了智能传感技术在变电检修设备状态监测中的应用优势, 提出了一套完整的变电检修设备状态监测系统方案。通过对智能传感器的选型、安装和数据处理等方面的研究, 实现了对变电检修设备的实时监测和故障诊断。同时, 结合实际案例分析了该状态监测系统在变电检修中的应用效果, 为提高变电检修设备的可靠性和安全性提供了有力支持。

关 键 词 : 智能传感技术; 变电检修设备; 状态监测; 故障诊断

Research on Condition Monitoring of Substation Maintenance Equipment Based on Smart Sensing Technology

Fu Jun

State Grid Fujian Electric Power Company, Shanghang County Power Supply Company, Shanghang, Fujian 364200

Abstract : With the continuous development of the power system and the improvement of intelligence level, condition monitoring of substation maintenance equipment has become crucial. This paper conducts an in-depth study on the condition monitoring method of substation maintenance equipment based on smart sensing technology, analyzes the application advantages of smart sensing technology in condition monitoring of substation maintenance equipment, and proposes a complete set of condition monitoring system solutions for substation maintenance equipment. Through research on the selection, installation, and data processing of smart sensors, real-time monitoring and fault diagnosis of substation maintenance equipment are achieved. At the same time, combined with actual cases, the application effect of the condition monitoring system in substation maintenance is analyzed, which provides strong support for improving the reliability and safety of substation maintenance equipment.

Keywords : smart sensing technology; substation maintenance equipment; condition monitoring; fault diagnosis

引言

随着经济的快速发展和社会的不断进步, 对电力的需求持续增长, 这促使电力系统规模不断扩大, 电力负荷也在持续攀升。在这样的背景下, 变电设备作为电力系统中的关键环节, 其安全稳定运行对于整个电力系统的可靠性而言变得至关重要。变电设备承担着电压变换、电能分配等重要任务, 一旦出现故障, 可能会对电力系统的正常运行造成严重影响, 甚至引发大面积停电事故, 给社会生产和生活带来巨大损失。传统的变电检修方式主要依靠定期巡检和预防性试验。定期巡检通常由运维人员按照预定的时间周期对变电设备进行现场检查, 查看设备的外观、运行状态等。预防性试验则是在一定的时间间隔内对变电设备进行一系列的电气试验, 以检测设备的绝缘性能、电气参数等是否符合要求^[1]。

这种传统的检修方式存在一定的局限性。一方面, 定期巡检和预防性试验难以实时掌握设备的运行状态。由于巡检和试验的时间间隔相对较长, 在这期间设备可能会出现一些突发的故障或异常情况, 而这些情况无法及时被发现。例如, 设备在两次巡检之间发生了局部过热、绝缘老化等问题, 可能会逐渐恶化, 最终导致设备故障。另一方面, 这种方式容易导致设备故障的漏检和误检。定期巡检和预防性试验主要依靠人工观察和传统的测试仪器, 对于一些潜在的故障隐患可能难以发现。同时, 由于测试条件和方法的局限性, 也可能会出现误判的情况, 将正常的设备误判为故障设备, 或者将故障设备误判为正常设备。随着智能传感技术的不断发展, 为变电检修设备的状态监测提供了新的手段和方法。智能传感技术利用先进的传感器和通信技术, 可以实时采集变电设备的各种运行状态参数, 如温度、湿度、压力、电流、电压等。

一、智能传感技术在变电检修设备状态监测中的应用优势

（一）智能传感器的特点和分类

智能传感器是一种具有信息处理功能的传感器，它能够对被测量的信号进行采集、处理和传输，具有高精度、高可靠性、高稳定性等特点。智能传感器可以分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器等不同类型，根据不同的应用需求选择合适的智能传感器进行状态监测^[2]。

（二）智能传感技术在变电检修设备状态监测中的优势

智能传感器在变电检修设备状态监测中具有诸多显著优势。其实时性强，能够实时采集变电检修设备的温度、湿度、压力、电流、电压等运行状态参数，并通过无线传输技术将数据迅速传输到监测中心，从而实现对设备的实时监测。准确性高，得益于先进的传感技术和信号处理技术，能够准确地测量设备的运行状态参数，极大地提高了状态监测的准确性。可靠性高，具有自诊断、自校准和自修复等功能，可及时发现传感器的故障并进行修复，有效提高了传感器的可靠性和稳定性^[3]。安装方便，体积小、重量轻，可直接安装在变电检修设备上，轻松实现对设备的在线监测。智能化程度高，能够与其他智能设备进行通信和交互，进而实现设备的智能化管理和控制，为变电检修设备的高效运行和管理提供了有力保障。

二、基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统方案

（一）系统总体架构

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统主要由智能传感器、数据采集终端、数据传输网络、监测中心和应用平台等组成。智能传感器负责采集变电检修设备的运行状态参数，数据采集终端将传感器采集到的数据进行处理和存储，数据传输网络将数据传输到监测中心，监测中心对数据进行处理和分析，应用平台为用户提供状态监测和故障诊断等服务。

（二）智能传感器的选型和安装

1. 智能传感器的选型原则

在变电检修设备的状态监测中，智能传感器的选型至关重要。需综合考虑变电检修设备的类型、运行环境以及监测需求等多方面因素。不同类型的变电检修设备，如变压器、断路器、隔离开关等，具有各自独特的运行特性和故障模式。例如，变压器对温度、油中溶解气体等参数的监测需求较高；断路器则需重点关注触头温度、机械特性等^[4]。运行环境方面，可能面临高温、高湿度、强电磁场干扰等复杂情况。在高温环境下，传感器应能稳定工作且不影响精度；强电磁场中，需具备良好的抗干扰能力。监测需求决定了传感器的性能要求，若需实时监测，应具备高速数据采集和传输能力。智能传感器的选型应遵循高精度，确保数据准确；高可靠性，减少故障发生；高稳定性，保证数据一致性；低功耗，降低运行成本；安装方便，提高部署效率。

2. 智能传感器的安装位置和方法

在变电检修设备状态监测领域，依据主变的结构与运行特性来精确定智能传感器的安装位置和方式，是整个监测流程中的关键步骤。主变作为变电系统的核心设备，具有独特的构造和复杂的运行机制。

主变的绕组在运行时，电流引发热量积聚与电磁力作用，严重影响其机械性能。为此，可采用高灵敏光纤温度传感器，紧密缠绕于绕组层间关键发热点，精准捕捉温度细微变化，预防过热故障；同时，在绕组端部支架固定高精度 MEMS 振动传感器，实时将电磁力引发的振动位移信号转换为电信号，供运维人员提前察觉绕组松动等隐患。铁芯作为磁通传导核心，磁场变化关键且机械紧固随工况改变，在轭部或接缝处安装霍尔效应磁场传感器监测磁场，在夹装装置配备应变片式应力传感器，依电阻变化判断紧固情况，确保磁化正常与结构稳定^[5]。触头作为电路开关关键部位，其接触与动作可靠性直接关联主变运行，在接触部位设薄膜压力传感器监测压力防接触不良，在操作机构装激光位移和高速摄像设备，精确测量行程与速度，及时发现卡滞磨损问题，保障触头动作精准可靠。总之，主变传感器安装要停电操作，综合考虑多因素选位，确保安装牢固、信号稳定，为变电系统安全稳定运行筑牢根基。

（三）数据采集和传输

1. 数据采集终端的功能和特点

数据采集终端在变电检修设备状态监测中扮演着关键角色。它负责采集智能传感器所获取的数据，这些数据涵盖了变电检修设备的各种运行状态参数。数据采集终端不仅要进行数据采集，还需对数据进行处理，如去除噪声、校准等，以提高数据质量^[6]。同时，它要具备数据存储功能，以便后续分析和查询。此外，通信接口能将数据传输到监测中心。数据采集终端应具有高可靠性，在复杂的变电环境中稳定运行，减少数据丢失和错误。高稳定性确保长期工作而性能不变。低功耗则降低能耗，符合可持续发展要求。

2. 数据传输网络的选择和构建

数据传输网络在变电检修设备状态监测系统中起着重要的桥梁作用。它的任务是将数据采集终端采集到的关于变电检修设备的各种数据准确、及时地传输到监测中心。在选择数据传输网络时，既可以考虑有线网络，其具有传输稳定、速度快等优势，适合对数据传输可靠性要求高的场景；也可以选择无线网络，它具有部署灵活、不受布线限制的特点，适用于一些难以布线或者需要灵活调整监测位置的情况^[7]。需根据实际的变电检修环境、成本预算等因素来选择合适的网络构建方式。

（四）监测中心和应用平台

1. 监测中心的功能和组成

监测中心负责对数据采集终端传输过来的数据进行处理和分析，实现对变电检修设备的状态监测和故障诊断。监测中心应具有数据存储、数据分析、故障诊断、报警处理等功能，同时应具有高可靠性、高稳定性、高安全性等特点。

2. 应用平台的功能和特点

应用平台为用户提供状态监测和故障诊断等服务，用户可以

通过应用平台实时查看变电检修设备的运行状态参数，接收故障报警信息，进行故障诊断和处理等操作。应用平台应具有友好的用户界面、强大的功能和高可靠性等特点。

三、基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统的 应用案例分析

（一）案例背景介绍

以某地区的重要枢纽变电站为例，该变电站规模宏大，占地面积广阔，拥有多台大型变压器、高压开关设备、继电保护装置等关键变电检修设备。其结构复杂，包括多个电压等级的变电区域，以及配套的控制楼、配电室等设施。在运行特点方面，该变电站承担着区域内大量的电力负荷输送任务，运行电压高、电流大，对设备的可靠性要求极高。同时，由于地处工业区域附近，周边环境存在一定的电磁干扰和粉尘污染等不利因素^[8]。

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统在该变电站得到了广泛应用。该系统通过智能传感器对各类变电检修设备的运行状态进行实时监测，包括温度、湿度、压力、电流、电压等关键参数，为设备的安全稳定运行提供了有力保障。

（二）状态监测系统的实施过程

1. 智能传感器的安装和调试

根据变电站的实际情况，首先对各类变电检修设备进行详细的分析，确定需要监测的关键部位和参数。例如，对于变压器，选择在绕组、铁芯等部位安装温度传感器和局部放电传感器；对于高压开关设备，在触头处安装温度传感器和机械特性传感器。在安装过程中，严格遵循安装规范，确保传感器能够准确地测量设备的运行状态参数，同时不影响设备的正常运行。例如，采用非接触式安装方式，避免对设备造成损伤；合理布置传感器的位置，确保能够全面监测设备的关键部位。安装完成后，进行严格的调试工作。通过模拟不同的运行状态和故障情况，对传感器的性能进行测试和调整，确保传感器能够准确地采集数据，并将数据传输到数据采集终端^[9]。

2. 数据采集终端和数据传输网络的构建

构建数据采集终端时，选择具有高性能的数据采集设备，能够同时接收多个智能传感器的数据，并进行快速处理和存储。数据采集终端具备数据采集、数据处理、数据存储、通信接口等功能，能够满足变电站复杂环境下的数据采集需求。在数据传输网络的构建方面，综合考虑变电站的布局 and 通信需求，选择有线和无线相结合的方式。对于关键设备和数据量大的区域，采用有线网络传输，确保数据的稳定性和可靠性；对于一些难以布线的区域，采用无线网络传输，提高系统的灵活性和可扩展性。在构建过程中，严格保证数据的准确性和实时性。采用先进的数据校验和纠错技术，确保数据在传输过程中不会出现错误；优化网络拓扑结构，减少数据传输的延迟，提高系统的响应速度。

3. 监测中心和应用平台的建设

监测中心是状态监测系统的核心部分，建设过程中采用高性能的服务器和存储设备，能够对大量的数据进行快速分析和处

理。监测中心具备数据存储、数据分析、故障诊断、报警处理等功能，能够实时监测变电检修设备的运行状态。应用平台则为用户提供了直观、便捷的操作界面。用户可以通过应用平台实时查看变电检修设备的运行状态参数，接收故障报警信息，进行故障诊断和处理等操作。应用平台具备友好的用户界面、强大的功能和高可靠性，能够满足不同用户的需求^[10]。在建设过程中，注重系统的稳定性和可靠性。采用冗余设计和备份机制，确保系统在出现故障时能够快速恢复；加强系统的安全防护，防止数据泄露和恶意攻击。

四、结论

本文围绕基于智能传感技术的变电检修设备状态监测展开深入探究，收获了许多方面成果，不仅剖析了智能传感技术在其中的应用优势，还精心构建出一套完备的状态监测系统方案，且凭借对智能传感器选型、安装及数据处理等关键环节的钻研，达成了对变电检修设备的实时监测与故障诊断，同时结合实际案例解析应用效果，有力支撑了变电检修设备可靠性与安全性的提升；然而研究尚存不足，后续可从进一步提升智能传感器性能与可靠性、削减成本及功耗，强化其与其他先进技术融合以提升系统智能化水平，开展系统可靠性、稳定性研究来增强抗干扰与容错能力，以及结合大数据、云计算等新技术拓展应用领域和功能等方面深入探索。总之，基于智能传感技术的变电检修设备状态监测会持续发展完善，伴随智能传感技术和电力系统智能化的持续推进，其必将在保障变电检修设备安全稳定运行方面发挥愈发关键的作用。

参考文献

- [1] 艾纪军. 智能电网背景下变电一次设备检修技术发展趋势及优化运用研究 [C] // 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (一). 国网长沙供电公司, 2024: 3.
- [2] 徐宝军, 李新海, 凌霞, 等. 变电设备智能检修系统设计与实现 [J]. 电力安全技术, 2021, 23 (07): 59-64.
- [3] 任江波, 赵子根, 刘景立, 等. 变电站多功能带电智能检修平台的设计与研究 [J]. 应用科技, 2021, 48 (03): 104-110.
- [4] 郑健. 智能模块化变电站检修作业车设计研究 [D]. 沈阳航空航天大学, 2019. [5] 关超. 智能技术在电网输电变电检修中的应用研究 [J]. 中国新技术新产品, 2019, (20): 33-34.
- [5] 汪亮. 基于智能传感技术的电力电缆实时监测与评估系统 [J]. 办公自动化, 2024, 29 (21): 94-96.
- [6] 刘川, 王春乐, 汪川东, 等. 智能传感技术在提高施工安全与产品质量中的作用 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (10): 88-90.
- [7] 郭亚光. 基于智能传感技术的台区线损自动化管理系统设计 [J]. 自动化应用, 2024, 65 (22): 1-3. DOI:10.19769/j.zdhy.2024.22.001.
- [8] 李君. 智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (11): 167-169. DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2024.11.053.
- [9] 王艺静, 刘程林, 周志雄. 基于人工智能技术的中小学生学习行为精准监测 [J]. 体育教学, 2024, 44 (11): 84-85.
- [10] 唐啸. 智能传感技术在电力工程全过程管理中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 234-235. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.11.109.