

电力系统高压电气设备故障自动化监测方法研究

尤华熠, 尤婷

衢州学院 电气与信息工程学院, 浙江 衢州 324000

DOI:10.61369/ME.2026070029

摘 要 : 高压电气设备是电力系统输配电过程中的主要部分, 它的运行状况直接关系到整个电力系统的安全供电状况。传统的人工巡检和定期检查模式有滞后性、主观性强、漏检率高、误检率高等诸多弊端, 不能满足智能电网日常化、精度化、全天候的运维要求。本文以高压电气设备常见的故障机理为出发点, 全面梳理主流自动化监测技术的主要原理及应用特点, 对目前监测方法在实际工程中存在哪些问题进行了研究, 并从多源数据融合、特征优化提取、智能算法迭代、监测体系完善等方面提出了针对性改进措施, 搭建起可以适应复杂电网工况的高压设备故障自动化监测体系, 给提高电力设备故障预判准确率、降低设备运维风险、保障电力系统安全稳定运行提供理论依据。

关 键 词 : 电力系统; 高压电气设备; 故障监测; 自动化技术; 智能运维

Research on Automated Monitoring Methods for High Voltage Electrical Equipment Faults in Power Systems

You Huayi, You Ting

School of Electrical and Information Engineering, Quzhou University, Quzhou, Zhejiang 324000

Abstract : High voltage electrical equipment is the main part of the power system transmission and distribution process, and its operation directly affects the safe power supply status of the entire power system. The traditional manual inspection and regular inspection modes have many drawbacks such as lag, strong subjectivity, high missed detection rate, and high false detection rate, which cannot meet the daily, accurate, and all-weather operation and maintenance requirements of smart grids. This article takes the common fault mechanisms of high-voltage electrical equipment as the starting point, comprehensively sorts out the main principles and application characteristics of mainstream automation monitoring technology, studies the problems of current monitoring methods in practical engineering, and proposes targeted improvement measures from the aspects of multi-source data fusion, feature optimization extraction, intelligent algorithm iteration, and monitoring system improvement. It builds a high-voltage equipment fault automation monitoring system that can adapt to complex power grid conditions, providing theoretical basis for improving the accuracy of power equipment fault prediction, reducing equipment operation and maintenance risks, and ensuring the safe and stable operation of power systems.

Keywords : power system; high voltage electrical equipment; fault monitoring; automation technology; intelligent operations

引言

随着电力电网网架结构不断完善、用电负荷稳步增长, 高压电气设备长期在复杂工况下运行, 受到环境侵蚀、绝缘老化、机械磨损、电压波动等多种因素影响, 容易出现各种隐性故障和突发性故障。高压设备故障会造成设备本体损坏, 并且会引起区域停电、电网震荡等安全事故, 给社会生产生活的正常进行造成严重影响。自动化故障监测技术依靠传感知、信号处理、智能分析等先进的技术, 可以对高压电气设备运行状态进行全天候的动态监测, 冲破传统运维模式的技术壁垒, 成了电力设备智能化运维的发展方向。目前各类自动监测技术都被应用到高压设备的运维中, 但是单一的监测技术存在监测维度单一、抗干扰能力差、故障识别精度低的问题, 在复杂工况下适配性较差。因此, 本文对高压电气设备故障自动化监测的主要技术和使用过程中出现的难题开展研究, 探讨精细化、智能化的故障监测改进办法, 把电力系统的运维方式由被动检修转变为预先预测和主动预判。

作者简介:

尤华熠 (2004.08-), 男, 布依族, 贵州省黔南州人, 本科学历, 研究方向: 自适应控制系统。

尤婷 (1980.06-), 女, 汉族, 浙江省衢州市人, 博士研究生, 研究方向: 结构健康监测, 自适应控制系统, 计算机监测与控制技术。

一、高压电气设备常见故障类型和故障机理

高压电气设备变压器、高压断路器、隔离开关、高压互感器、输电线路等都是主要的设备，不同种类设备结构特性不同、运行工况也各不相同，故障表现形式和故障机理也各不相同，准确地整理出故障特征是构建自动化监测体系的前提。

（一）绝缘类故障

绝缘故障是高压电气设备最常见的基础性故障，绝缘介质长期处于高压电场、温湿度变化、污秽侵蚀等影响之下，逐渐出现绝缘老化、破损、击穿等现象。绝缘性能下降过程中会产生持续性的局部放电现象，逐步破坏绝缘结构，最终引发设备短路、跳闸等严重故障^[1]。该类故障具有很强的隐蔽性，在前期没有任何明显的外部表现，不能依靠一般的巡视检查发现，属于自动监测中必须捕捉的隐形故障。

（二）机械类故障

机械故障多发生于高压断路器、隔离开关等操作型设备，设备频繁分合闸操作会造成传动机构磨损、部件松动、卡滞、弹簧疲劳等问题。机械故障会直接造成设备操作失灵、分合闸不到位、动作延时异常等现象，大大降低了设备动作的可靠性，在电网故障应急处置的时候容易引起事故扩大化。机械故障的发展是渐进的，设备运行过程中振动、声响的变化就是故障识别的主要特征^[2]。

（三）热异常故障

高压设备接头、触点、绕组等部位接触不良或者负荷过载时，会出现局部发热异常问题，长期高温运行会加快设备绝缘老化、金属部件氧化，逐渐引起烧蚀、断路等故障。热异常故障贯穿设备全运行周期，受负荷波动、环境温度、接触状态影响较大，故障发展速度快，是引发突发性设备事故的重要诱因^[3]。

（四）介质性能衰减故障

以油浸式变压器为代表的充油高压设备，在长期运行中绝缘油、气体介质会因为性能衰减而产生各种活性产物，使得绝缘、散热、灭弧性能大幅下降，逐渐引起设备内部故障。该类故障属于设备内部隐性故障，不能通过外观巡检来识别，要依靠介质状态的实时监测来进行故障预判^[4]。

二、高压电气设备主流自动化监测方法分析

目前电力系统高压设备自动化监测技术已经形成多维、多种的体系，不同的监测方法对应的故障类型、监测原理和应用场景有明显的区别，各自有不同的优点和技术缺陷。

（一）局部放电监测技术

局部放电监测是高压设备绝缘故障的主要自动化监测手段，它主要是捕捉到由设备绝缘缺陷所产生的放电信号，并用信号分析来判断绝缘老化和破损程度。可以对设备绝缘状态进行实时在线监测，在不需要停电的情况下就可以精确地发现早期隐性绝缘故障，有效地避免绝缘击穿类突发事件^[5]。实际应用中由于局部放电信号能量小、传播路径复杂、现场电磁干扰大而影响了信号采

集精度，会出现虚假信号和信号缺失的问题，单纯依靠局部放电监测不能实现故障的准确定位，只能完成绝缘异常的初步判定。

（二）红外热成像监测技术

红外热成像技术依靠红外感知设备获取高压设备表面温度分布信息，根据温度异常区域识别设备热故障，具有非接触、无损伤、实时成像的技术优点，适用于所有高压外露设备的热异常监测。该技术可以直观地显示设备温度分布情况，快速发现接头过热、绕组发热等明显的故障，适合大范围设备巡检场景。但是该技术受环境温度、光照、设备污秽覆盖影响较大，不能发现设备内部隐性热故障，只能对表层故障进行监测，监测深度有明显限制^[6]。

（三）振动和声纹监测技术

振动和声纹监测主要是对高压设备的机械故障进行自动化监测，用传感器来采集设备运行过程中的振动波形、运行声响等特征信号，依靠信号时频域变化规律来判断设备传动机构、触头、弹簧等部件的运行状态。当设备机械部件出现磨损、松动、卡滞故障的时候，振动频率、声纹特征会明显偏移，可以实现机械故障的早期识别。该技术对传感器布设精度、信号降噪能力要求较高，现场复杂工况产生的振动与噪声干扰，很容易造成故障特征信号被覆盖，小幅度机械缺陷的识别精度较低。

（四）介质状态在线监测技术

介质状态监测主要应用在油浸式高压变压器、高压充气设备上，通过对绝缘油、绝缘气体的组分和性能参数进行实时采集，分析介质劣化程度，间接判断设备内部运行状态。该技术可以准确反映设备内部隐性故障的发展趋势，是设备内部故障监测的主要手段。但是该技术监测参数单一，只能判定介质性能异常，不能直接定位故障点位和故障类型，需要结合其他监测数据进行综合诊断。

三、当前高压设备故障自动化监测的主要问题

（一）单一监测技术维度局限，故障识别片面化

目前多数电力运维场景还使用单一监测技术对设备故障进行监测，各种技术只能覆盖单个故障维度，不能全面反映设备整体运行状态。绝缘监测不能识别机械故障，热成像监测不能判定内部介质劣化问题，单一监测模式容易出现故障漏判、误判，不能适应复杂工况下综合故障诊断的需求，不能实现设备故障的全方位精准预判。

（二）信号抗干扰能力弱，特征提取精度不足

高压变电站属于强电磁干扰环境，设备监测过程中采集的各种信号容易受到电磁辐射、环境噪声、负荷波动的影响，使得原始监测信号中含有大量的无效噪声分量。现有的监测系统信号预处理能力有限，不能有效分离干扰信号和有效的故障特征信号，微弱的早期故障特征无法被有效提取出来，从而造成早期隐性故障识别精度较低，故障预警滞后。

（三）数据融合程度低，智能分析能力弱

现阶段各类监测设备独立运行、数据独立存储，绝缘、热成

像、振动、介质监测等多源数据没有形成统一的数据交互体系，数据孤岛问题严重。监测系统大多依靠固定阈值来判断故障，缺少对设备运行时序特征、多参数关联特征的深度分析能力，不能区分设备正常工况波动和真实故障异常，智能化诊断水平不高，不能满足精细化运维需求。

（四）监测运维体系不完善，适配性不足

不同的高压设备故障演化规律、监测需求各不相同，但是目前的监测系统大多采用通用化的布设方案，没有根据设备特点定制化的监测策略。此外，监测设备长期运行后校准和维护不到位，会造成传感器精度偏移、监测数据失真等现象的发生，进而影响到整个系统的稳定性，降低其整体的可靠性。

四、高压电气设备故障自动化监测优化方法

（一）建立多源数据融合监测体系

冲破单一监测技术的维数局限，把局部放电、红外热成像、振动声纹、介质状态四种主要监测数据加以整合，形成一个多元化的数据融合自动化监控平台。根据各种高压设备的不同故障特征，选择不同的监测组合方案，变压器的主要监测内容是介质状态和局部放电监测，高压断路器的主要监测内容是振动声纹和红外测温，实现对设备故障的全方位、多维度监测。用数据层、特征层、决策层三种层次来把所有的监测数据进行互相补全，避免只用一种监测数据造成的结果偏差大或者不能准确地检测出所有可能出现的问题。

（二）改善信号降噪、特征提取技术

在强电磁干扰的条件下，信号失真问题出现，因此要对监测信号预处理算法进行改进，采用自适应滤波方法把环境干扰噪声去掉，保留原始故障特征信号。结合高压设备故障信号时频域的特点，改进特征提取机制，着重研究故障演化过程中重要特征的变化，剔除无效冗余特征，提高早期微弱故障特征的提取能力。依靠准确的信号处理、特征筛选手段来消除早期隐形故障难以辨别的现象，提升监控系统检测微小故障的能力。

（三）使用智能算法来提高故障诊断的准确率

传统的高压设备故障监测大多依靠固定的阈值来判断，判断方法较为粗略，不能适应设备复杂多变的运行工况，容易把正常

的负荷波动、环境工况变化误判为设备故障，也会漏掉阈值范围内的渐进性故障。为了解决这个问题，必须彻底抛弃单个阈值判定模式，使用深度学习、模式识别等现代化智能算法，构建基于设备全生命周期时序数据的智能化故障诊断模型。借助电力运维所积累下来的大量设备正常运转数据、故障样本数据、工况变动数据，不断地训练和改善故障特征样本库，创建出设备运行特性、故障类型、故障严重程度同故障演化趋向之间精确对应的映射关系。用智能算法对各种监测参数的协同异常规律进行深度挖掘，准确地区分出设备正常工况的波动和真实故障的异常，从而实现高压设备故障的自动分类、精准定位以及趋势预判，从根本上降低故障误检率和漏检率，提高设备故障监测的智能化水平。

（四）建立差异化的精准监测运维体系

高压设备运行工况、结构特点、故障机理不同，自动化监测方案也不同，传感器布置的位置、数据采集的频率、监测参数的组合也各不相同，从而达到精准化的监测。建立常态化的监测设备运维校准机制，定期完成传感器精度校验、系统程序优化、数据链路检修等工作，保证监测设备长期稳定运行。根据设备运行时间、负荷等级来划分监测优先级，加强对于老旧设备、高负荷设备的监测力度，合理地配置监测资源。

五、结论

高压电气设备故障自动化监测是智能电网运维体系的重要支撑，也是防止电网安全事故、提高供电可靠性的关键技术手段。目前主流的自动化监测技术各有优势，但是单一的技术存在监测维度小、抗干扰能力差、智能分析不够等问题，不能满足复杂电网精细化运维的需求。创建多源数据融合监测系统，优化信号处理和特征提取技术，加入智能诊断算法，建立差异化运维系统，可以有效地解决目前监测工作中存在的主要问题，实现由被动排查到主动预判、由单一监测到全方位精准监测的转变。未来要继续利用物联网、人工智能技术来改进监测模型、数据融合方法，并且不断提升高压电气设备故障自动监测精确度、及时性以及智能化的程度，在此基础上为电力系统安全稳定地运行打下良好的技术基础。

参考文献

[1] 周毅忠. 电气自动化设备安全监测与故障诊断技术分析 [J]. 电力设备管理, 2025, (22): 26–28.
[2] 汤雪飞, 许兆荣. 传感器技术在国电南瑞电气自动化系统故障监测中的应用 [J]. 云南电力技术, 2025, 53 (5): 69–73.
[3] 付宝友. 电力系统电气设备故障自动化智能监测技术探析 [J]. 电力设备管理, 2025, (18): 102–104.
[4] 魏雪娇. 基于云计算的电气工程自动化监测系统研究 [J]. 电气技术与经济, 2025, (8): 171–174.
[5] 朱统方. 高效能冶金电气自动化技术对生产效率提升的影响 [J]. 冶金管理, 2025, (7): 81–83.
[6] 王凯, 孙义杰. 电力系统电气设备故障自动化智能监测技术 [J]. 现代计算机, 2023, 29 (22): 35–37+82.