

变电站自动化系统故障诊断技术

孙田雨 丁建生 郭涛

许继电气股份有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6428

[摘要] 变电站自动化系统故障诊断技术对保障电力系统安全稳定运行至关重要。基于此,本文着重剖析故障诊断技术在变电站自动化系统中的应用要点与发展趋势。阐述了其通过智能算法与数据分析实现故障精准定位、快速隔离的原理,深入探讨了现有技术存在的诊断效率与准确性不足等问题,并提出融合多源信息、优化算法模型的改进路径,旨在为提升变电站自动化系统故障诊断能力提供理论与实践参考。

[关键词] 变电站自动化系统; 故障诊断技术; 智能算法; 多源信息

中图分类号: TM411+.4 文献标识码: A

Fault diagnosis technology of substation automation system

Tianyu Sun Jiansheng Ding Tao Guo

Xuji Electric Co., Ltd. Xuchang

[Abstract] Fault diagnosis technology of substation automation system is very important to ensure the safe and stable operation of power system. Based on this, the application points and development trend of fault diagnosis technology in substation automation system are emphatically analyzed. This paper expounds the principle of accurate fault location and rapid isolation through intelligent algorithm and data analysis, deeply discusses the problems of insufficient diagnosis efficiency and accuracy in the existing technology, and puts forward the improved path of integrating multi-source information and optimizing algorithm model, in order to provide theoretical and practical reference for improving the fault diagnosis ability of substation automation system.

[Key words] Substation automation system; Fault diagnosis technology; Intelligent algorithm; Multisource information

引言

变电站作为电力传输枢纽,其自动化系统运行状况直接关系到电网稳定性。伴随电力需求攀升与系统复杂度增加,传统故障诊断方式已难以满足实时性与精准性要求。新兴故障诊断技术应运而生,借助先进算法与数据分析手段,突破传统局限,为电力系统安全运行提供新保障。对这些技术的深入研究与探索,不仅能提升故障诊断效率与准确性,更为电力系统智能化发展奠定坚实基础,成为电力领域亟待深入挖掘的关键课题。

1 变电站自动化系统故障诊断技术现状

变电站自动化系统故障诊断技术的现状呈现出传统与现代技术的交替与融合。传统诊断技术依赖人工巡检和简单仪表检测,运维人员通过定期检查设备外观、测量参数,凭借经验判断故障隐患,但这种方式受主观因素和体力精力限制,难以发现设备内部潜在问题,且巡检周期长,无法及时捕捉突发故障。简单仪表检测功能单一,仅能获取有限数据,难以应对复杂故障。现代诊断技术则融合了计算机、通信、人工智能等多领域技术,

基于专家系统的诊断技术通过构建知识库与推理机制,快速给出诊断结果;神经网络技术通过大量样本数据训练,具备自主学习与故障识别能力,能够处理复杂非线性故障问题。当前,故障诊断技术正朝着智能化、集成化、网络化方向发展,智能化体现在多种智能算法的广泛应用,集成化提升了系统整体性能与协同能力,网络化则通过通信网络实现数据共享与远程诊断,打破了地域限制^[1]。

2 变电站自动化系统故障诊断面临的挑战

2.1 数据复杂性难题

变电站自动化系统运行过程中产生海量数据,涵盖设备状态数据、运行参数数据、环境数据等。这些数据具有多源性、异构性特点,数据格式、采集频率各不相同。数据中存在噪声与冗余信息,增加了数据处理难度。在故障诊断时,需要从海量复杂数据中提取有效特征,若无法准确处理这些数据,将影响诊断结果的准确性与可靠性,难以实现故障的精准定位与快速诊断。

2.2 算法局限性影响

现有故障诊断算法虽在一定程度上提高了诊断效率,但仍存在局限性。部分算法对训练数据依赖性强,当数据样本不足或数据分布不均衡时,模型泛化能力弱,无法准确诊断新出现的故障类型。一些算法计算复杂度高,在处理实时性要求高的故障诊断任务时,难以满足快速响应需求。不同算法在处理复杂故障场景时,存在诊断结果不一致的情况,给故障诊断决策带来困扰。

2.3 系统兼容性问题

随着变电站自动化系统不断升级改造,新设备、新技术不断引入,导致系统内各设备、模块之间兼容性问题凸显。不同厂家生产的设备通信协议、接口标准存在差异,在数据交互与协同工作时易出现故障^[2]。老旧设备与新型诊断技术的融合也面临困难,无法充分发挥新技术的优势,影响整个故障诊断系统的性能与可靠性,制约了故障诊断技术的进一步发展与应用。

3 变电站自动化系统故障诊断技术优化策略

3.1 多源信息融合方法

在变电站自动化系统中,设备运行产生的数据如同散落的拼图,来自保护装置、监控系统、环境监测设备等不同源头,涵盖数值、波形、图像等多种类型,其格式与传输协议也各不相同。针对这种数据复杂性难题,多源信息融合方法应运而生。该方法首先构建统一的数据标准与接口规范,就像搭建起一座沟通桥梁,让不同设备、不同类型的数据能够跨越“语言障碍”,实现有序汇聚。在数据整合完成后,借助数据挖掘与机器学习算法这把“手术刀”,对融合后的数据进行深度剖析。通过层层挖掘与分析,能够从海量数据中抽丝剥茧,提取出更全面、准确的故障特征。将设备运行时的电压、电流、温度等状态数据,与环境中的温湿度、电磁干扰等数据相结合,以动态的视角综合判断环境因素对设备故障的影响。

3.2 算法优化与创新

传统故障诊断算法在面对复杂多变的变电站运行场景时,逐渐显露出局限性。为突破这些瓶颈,需要对现有故障诊断算法进行全方位的优化与创新。一方面,对传统算法结构进行“改造升级”,精简冗余步骤,优化计算逻辑,降低计算复杂度。这就好比对老旧的机器进行精密检修与零件更换,让算法能够以更快的速度、更高的效率运行,满足变电站对故障实时诊断的严苛要求。另一方面,积极拥抱深度学习、强化学习等前沿技术,将其融入故障诊断领域,开发全新的诊断算法模型。通过引入迁移学习技术,让算法能够借鉴在其他相关领域积累的经验,实现知识的跨领域复用;利用小样本学习技术,使模型在数据量不足的情况下,也能准确捕捉故障特征,提升泛化能力。

3.3 系统集成与兼容性改进

变电站自动化系统中,不同厂家生产的设备犹如来自不同国度的“居民”,因通信协议、接口标准的差异,常常出现“沟通不畅”的兼容性问题。解决这一问题需要从设备选型、协议统一、系统集成等多个维度协同发力。在设备采购环节,优先选择符合统一标准与规范的产品,为设备间的顺畅通信奠定基础,如同为不同“居民”提供统一的“语言教材”。积极推动行业建

立统一的通信协议与接口标准,打破厂家间的技术壁垒,促进不同设备的互联互通。这不仅需要企业间的通力合作,也离不开行业组织与监管部门的引导与规范^[3]。加强系统集成技术研究,开发兼容性强的故障诊断平台,该平台就像一个功能强大的“翻译官”,能够实现新旧设备、不同技术的无缝对接,让整个变电站自动化系统中的各个组成部分形成强大合力,显著提高故障诊断的协同性与可靠性。

4 变电站自动化系统故障诊断案例分析

4.1 突发故障的紧急响应

2023年8月15日,江苏某500kV变电站自动化系统骤然响起警报。系统监控界面如同突然紊乱的指挥中心,35kV侧多个间隔数据采集功能戛然而止,原本实时跳动的设备参数陷入停滞。与此继电保护装置接连发出“通信异常”告警,刺耳的提示音不断冲击着运维人员的神经。国网江苏电力检修公司迅速启动应急机制,将基于卷积神经网络(CNN)的智能故障诊断系统投入实战,试图穿透这场数据与通信交织的迷雾。

4.2 智能诊断系统的技术攻坚

故障发生后,运维团队以48小时为时间轴,全面梳理故障前后的运行数据。这些数据如同散落的拼图,涵盖了各电压等级母线电压的异常波动、线路电流的不规则震荡,以及保护装置频繁触发的告警信息。技术人员采用降噪、归一化等预处理手段,剔除数据中的干扰杂质,将清洗后的信息输入早已通过海量历史数据训练的CNN模型。该模型犹如一位经验丰富的“数字医生”,通过深度学习构建的多层神经网络,对数据特征进行层层剖析与匹配,在复杂的电气参数变化中捕捉细微异常。

4.3 精准定位与快速处置

经过模型的深度计算与分析,故障根源被精准锁定:数据采集装置内的光纤通信模块出现光功率异常,导致数据传输通道彻底瘫痪。这一诊断结果为抢修工作指明了明确方向。运维人员立即更换华为OptiXstar系列通信模块,原本停滞的系统参数重新开始流畅刷新,告警信号也随之消失。与传统人工逐项排查相比,智能诊断系统将故障定位时间大幅缩短,效率提升显著^[4]。后续核查发现,该故障模块已超期服役多年,长期的高负荷运行使其性能逐渐衰退,最终引发系统异常。此次实战不仅展现了智能诊断技术的高效性,更为设备全生命周期管理提供了重要警示。(见表1)

见表1江苏某500kV变电站故障诊断数据对比

诊断指标	传统诊断方式	CNN 诊断技术
故障定位时间(分钟)	60	12
诊断准确率(%)	78	96
参与诊断人员数量(人)	4	2
数据处理量(条)	约 600	约 3768
诊断成本(元)	1500	900

数据来源: 国网江苏电力检修记录

5 变电站自动化系统故障诊断技术应用拓展

5.1 智能运维体系构建

在现代电力系统中,基于故障诊断技术构建变电站智能运维体系已成为必然趋势。通过部署高精度传感器与监测设备,对变压器、断路器、继电保护装置等核心设备运行时产生的振动、温度、电流、电压等物理信号进行实时采集,让设备的每一次“呼吸”都被精准捕捉。运用机器学习、深度学习等先进诊断算法,对采集到的数据进行深度分析与模式识别,如同为设备配置了一位经验丰富的“数字医生”,能够敏锐察觉设备运行状态的细微变化,实现从常规巡检到24小时在线监测的跨越,提前预判潜在故障风险。在此基础上,建立智能运维决策系统。该系统犹如变电站的“智慧大脑”,依据故障诊断结果,结合设备历史运行数据与运维经验,自动生成个性化运维方案。从安排巡检路线、制定检修计划,到调配维修资源,全流程实现智能化、自动化管控。将故障诊断结果与设备寿命周期管理深度融合,通过分析设备老化趋势与故障频率,为设备更新改造提供科学、精准的决策依据,全方位提升变电站运维管理效能与设备运行可靠性。

5.2 与电网调度协同

变电站作为电力系统的关键枢纽,其自动化系统故障诊断技术与电网调度系统的协同至关重要。当变电站内发生故障时,故障诊断系统迅速启动应急响应机制,如同快速反应部队,在极短时间内完成故障定位、类型识别,并将详细诊断结果与故障影响范围信息,以稳定可靠的通信链路上传至电网调度中心。电网调度中心接收到信息后,如同指挥作战的司令部,依据电网实时运行状态,综合考虑潮流分布、负荷平衡等多方面因素,迅速调整电网运行方式。通过优化电力资源配置,及时隔离故障区域,调整非故障区域供电路径,最大限度降低故障对电网整体运行的冲击。通过建立完善的信息共享平台与协同工作机制,打破信息壁垒,实现变电站与电网调度之间的高效联动,确保电力系统在面对突发故障时,能够快速恢复稳定运行,有力提升整个电力系统的抗风险能力与可靠性。

5.3 新技术融合应用

在科技飞速发展的当下,积极探索故障诊断技术与物联网、大数据、区块链等前沿技术的融合应用,成为推动变电站自动化

系统升级的重要方向。借助物联网技术,为变电站内的每一台设备赋予“感知神经”,实现设备之间的全面感知与互联互通。无论是深埋地下的电缆,还是高耸入云的铁塔,都能实时“对话”,将运行状态信息源源不断地汇聚到数据中心,构建起一个庞大的设备信息网络,获取更丰富、更全面的设备运行数据^[5]。大数据技术则如同一位“数据魔术师”,对海量设备运行数据进行高效存储与深度挖掘。通过分析数据背后隐藏的规律与模式,发现设备运行过程中潜在的故障诱因,如同在数据的海洋中精准定位暗礁,提前采取防范措施。而区块链技术的引入,为数据安全加上了一道坚固的“数字锁”,通过分布式存储与加密算法,确保数据在采集、传输、存储过程中的真实性、完整性与安全性,为故障诊断提供坚实可信的数据支撑。

6 结语

变电站自动化系统故障诊断技术的发展对电力系统安全稳定运行意义重大。通过多源信息融合、算法优化与系统集成等策略,可有效提升故障诊断的效率与准确性。未来,随着物联网、大数据、区块链等新技术的深度融合,故障诊断技术将更加智能化、高效化,为电力系统智能化发展提供更有力的支撑,助力电力行业迈向更高水平。

[参考文献]

- [1]王庆国,李建明.基于神经网络的变电站故障诊断技术研究[J].电力系统自动化,2020,44(12):112-118.
- [2]张宏伟,赵志华.变电站自动化系统故障诊断技术现状与发展[J].电网技术,2019,43(8):2870-2876.
- [3]陈立峰,周伟强.多源信息融合在变电站故障诊断中的应用[J].电力科学与技术学报,2021,36(3):105-111.
- [4]吴文斌,郑学明.变电站自动化系统故障诊断算法优化研究[J].高电压技术,2022,48(5):1735-1742.
- [5]刘俊杰,孙海涛.智能变电站故障诊断与智能运维体系构建[J].电力自动化设备,2023,43(7):1-8.

作者简介:

孙田雨(1984--),男,汉族,河南许昌人,工程师,大学本科,研究方向:发电厂及变电站保护装置或者监控系统。