

Intelligent monitoring and fault diagnosis in power system substation operation and maintenance

Haotian Cui¹ Shuaizhao Wen²

1. State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Tangshan Power Supply Company Tangshan, Hebei, 063000, China
2. State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Langfang Power Supply Company Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

The vital role of power systems in social production and daily life is undeniable. Substation operations directly determine the efficiency of power grid performance, making proper maintenance crucial. Traditional substation O&M methods relying on manual inspections and scheduled repairs suffer from limitations including low monitoring accuracy, delayed fault detection, and high labor costs, failing to meet modern power systems' demands for real-time responsiveness and operational efficiency. With the deep integration of IoT, AI, and big data analytics technologies in recent years, intelligent monitoring and fault diagnosis have emerged as key development directions for substation maintenance. This paper analyzes and discusses the application of smart monitoring and fault diagnosis in power system substation operations, providing valuable insights for industry reference.

Keywords

power system; substation operation and maintenance; intelligent monitoring; fault diagnosis

电力系统变电运维中的智能监测与故障诊断

崔浩天¹ 温帅召²

1. 国网冀北电力有限公司唐山供电公司, 中国·河北 唐山 063000
2. 国网冀北电力有限公司廊坊供电公司, 中国·河北 廊坊 065000

摘要

电力系统在社会生产、生活中作用的重要性毋庸置疑,而变电站运行直接关系到电力系统的运行效益,做好对变电站的运行维护显得十分重要。传统的变电运维模式依赖人工巡检和定期检修,存在监测精度有限、故障发现滞后以及人力成本高等问题,已难以满足现代电力系统对实时性与高效性的要求。近年来,随着物联网、人工智能、大数据分析等技术的深度应用,智能监测与故障诊断成为变电运维的重要发展方向。基于此,文章对电力系统变电运维中智能监测与故障诊断的应用进行了分析、探讨,以供参考。

关键词

电力系统; 变电运维; 智能监测; 故障诊断

1 引言

在社会经济与民生发展过程中,电力系统运行的安全、稳定十分重要,而变电站作为电力系统运行的关键环节直接影响着电力系统的运行效益,因此,做好对电力系统变电运维管理有着十分重要的现实意义。在传统的变电站运行维修过程中,是以人工巡检为主,对于故障的判断、维修也较为依赖运维人员的经验,不但维护检修的效率较低并且难以保障对故障的准确处理。随着电力系统发展的日益复杂,变电站的运行维护要求也越来越高。信息技术、数字化控制技术等的不断发展,推动了智能监测与故障诊断技术在电力系统变电运维中的应用,成了提高变电系统运维效率,降低电力系统

运行故障率的重要措施。

2 电力系统变电运维相关概述

在电力系统运行过程中,变电站的作用不可或缺,是实现电力系统电能转换、电压变换、系统配电等功能的重要保障,更是电力系统中连接电力传输和电力分配的重要环节。传统的电力系统变电站运行维护是以人工定期巡检为主,较为依赖技术人员的经验。传统的电力系统运行人工巡检方式保障了电力系统的基本运作,但是人员成本投入大、故障反应速度慢、故障预判困难等问题一直影响着电力系统运行效益的提升^[1]。尤其是在电力系统发展越发复杂的背景下,传统的人工运维方式通常无法实现对突发故障的有效应对,极易引发系统停运问题,造成严重的经济损失。在现代信息技术、智能技术不断发展的推动下,传统的电力系统变电运维方式也在不断优化、转变,远程监控技术、自动诊断

【作者简介】崔浩天(1995-),男,中国河北保定人,硕士,工程师,从事变电运行研究。

技术、智能决策支持技术等,在根本上转变了变电站的运维模式。其中,智能变电运维系统的应用,借助了对先进传感设备、通信技术、人工智能算法、数据分析技术等的应用,实现了对变电站各个设备运行状况的实时监测,系统运行故障得到及时的捕捉、诊断、调整,降低电力系统运行故障率,以及实现对故障问题影响范围的最小化控制。

3 电力系统变电运维智能监测

3.1 智能传感和数据采集

在变电智能监控体系中,智能传感器的应用十分重要,是实现系统运行监测的重要保障。将传感器布置在各个设备上对各项运行参数,如电流、电压、温度、湿度、振动等进行实时获取,以全面、实时的设备运行信息为运维作业的实时调整提供依据。传感器采集到的数据在完成初步处理之后会在数据采集系统的作用下传输至中控系统,为后续的运维分析与决策提供数据依据^[2]。现代、先进的智能传感器的灵敏度、精度都较高,能够实现高温、高湿、电磁干扰等极端环境下的稳定运行,获得准确、可靠的设备运行数据。尤其是多功能集成的传感器能够实现对多种设备运行参数的同时捕捉,很好地满足设备健康状态检测的条件要求,有利于对设备故障的有效预测。

3.2 实时监测和数据分析

基于智能传感器的数据采集,实现了对变电站设备运行状况的全天候监控,使得运维人员能够准确把握设备运行状态,及时发现安全隐患,避免重大事故的发生。实时监测系统的应用实现了对设备健康状况的实时掌握,变电站的运行变得更为可靠、高效。但是仅凭数据采集难以为运维决策提供支撑,需要进一步对海量数据的深入分析,才能实现精准的故障预测,提高变电站设备健康管理水平。现代数据分析技术的应用,如机器学习、人工智能算法等的应用,提高了数据分析效率与准确性,以此为基础构建出设备故障预测模型,实现对设备运行趋势的有效预测,准确识别设备的运行参数异常变化,做出相应的检查、维护预警^[3]。

3.3 云计算和大数据技术

云计算与大数据技术的融合应用,强化了智能监测系统的数据处理能力,很好地满足了变电站的规模化、复杂化发展的运维需求。传感监测获得的数据在云端进行集中存储,提高了变电系统数据共享与集中处理能力,并且灵活地需求分析与数据计算,为大规模数据的高效处理提供保障,进而能够实现对设备突发故障的快速反应。除此之外,云计算的应用提高了电力系统变电运维平台的可拓展性,能够很好地满足电力系统规模扩大导致的变电设备数量、数据分析量不断提升的需求,提高了变电运维的可持续发展能力。大数据技术的应用使得运维人员能够在海量监测信息中准确提取有价值的设备运行信息,深入挖掘变电系统运行规律与各设备运行的故障趋势。在大数据技术强大的数据分析能力

驱动下,变电设备故障得到精确预测,提高了电力系统变电运维的科学水平。

4 电力系统变电运维故障诊断

4.1 模型诊断

模型故障诊断是基于对变电设备运行原理、条件、特点的深入分析,构建的故障诊断方法。变电设备数据模型的构建,是以设备的物理规律、控制系统、外部环境之间的相互关系、相互作用为依据构建的一系列数学方程,以此进行设备正常工况下的参数预估,并与设备实际运行数据对比,明确参数运行差异,以此作为设备故障诊断依据。变压器、断路器的呢过变电设备运行工况能够通过构建电气模型进行反映^[4]。以电流、电压等的实时采集数据和模型预测之间出现较大差异作为判断设备故障的依据,以此为基础对故障类型、位置进行进一步分析。在机器学习算法等数据驱动技术的应用,变电设备故障诊断系统能够在历史数据、实时监测数据、设备运行模型等的融合下,实现对故障的高效检测与准确定位。

4.2 数据诊断

数据故障诊断的应用核心在于对大量设备运行数据的收集、分析,准确识别设备正常运行工况下和故障状态下的数据差异,如温度、电压、电流、振动等参数能够在数据处理技术的应用下实现对设备运行特征的提取,为运维掌握设备运行的健康状况提供依据。以及在进一步应用数据挖掘、机器学习算法来分析参数特征与设备故障的关联性,对这些关联性算法模型加以训练、定义,进而能够实现系统对故障的自动识别,做出及时的故障预警。数据故障诊断在大数据、云计算、人工智能、5G通信等先进技术的融合应用下能够实现对变电站设备更高频次的数据采集与处理,提高故障诊断的准确性、提升高效性。尤其是数据诊断与模型诊断的有效结合,能够充分发挥各自优势,弥补变电运维的不足,提高对故障识别、诊断的准确性、智能性。

4.3 状态评估与趋势预测

故障诊断不仅要求定位已发生的异常,还需对设备未来的劣化趋势进行前瞻性判断。通过引入时序分析和健康指数评价体系,可在长期运行数据中识别出关键参数的变化规律,并结合加速寿命模型,对绝缘老化、触头磨损和电弧侵蚀等隐性劣化进行量化评估。基于预测结果,可提前制定检修计划和负荷调整策略,减少计划外停运的风险,同时提升运维资源的配置效率。

5 电力系统变电运维智能监测和故障诊断的集成

5.1 智能监测与故障诊断的协同

首先,在数据流与信息流的协同方面。智能监测与故障诊断的协同过程实现数据流与信息流的无缝连接十分关键。传感器对设备参数的实时获取是智能监测的基础,以智

能监测为前提进行数据的实时分析、处理,是故障诊断系统异常、故障识别的关键,同时借助诊断算法实现对故障的分类、预警。在协同反馈机制的作用下,智能监测与故障诊断互相支持、互相补充。在智能监测过程中一旦出现参数异常则会立即向运维发出警报,故障诊断则同步进行异常数据的挖掘、分析,明确故障类型,做出维护建议^[9]。其次,在反馈与优化方面。故障诊断在完成故障识别的同时能够将信息反馈至监控系统,优化系统设置,提高检测精度。比如,当故障诊断系统识别到某一变电设备存在的较多故障模式时,通过对传感器数据采集的模式、频率等进行调整,更为集中对故障部位的数据监测,实现智能监测与故障诊断的双向优化,构建变电故障的监控、识别、诊断的闭环,提高变电运维效率。此外,在提高运维效率与可靠性方面。智能监测与故障诊断的结合,很好地弥补了传统人工检测的不足,实现故障识别、处理时间的大幅缩短,运维人员能够在故障发生的第一时间受到预警,掌握故障位置、类型,及早采取措施,避免了故障范围的进一步扩大。尤其是在对老旧设备运行,或者是复杂环境作业的设备,智能监测与故障诊断的有效协同,实现了对故障的预防性处理,有助于延长设备运行寿命,降低运维成本,提高电力系统运行的整体效能。

5.2 故障诊断算法与监测数据的融合

首先,在提高故障诊断准确性方面。故障诊断与监测数据的有效融合,大幅提高了故障诊断的准确性。仅仅是依靠监测数据,极易由于噪声、环境、异常值等的干扰而出现误判、漏诊的情况。对此,借助机器学习、深度学习等方法的应用与监测数据、故障诊断方法的结合,准确在海量数据中识别故障特征,降低故障误诊的概率。故障诊断与深度学习的结合,能够及时发现细微的故障征兆,将故障问题扼杀在早期阶段,以高度的故障诊断敏感性,实现对复杂、未知故障的有效识别。其次,在提高诊断效率和响应速度方面。故障诊断算法和实时监测数据的有效融合,实现了对故障诊断的自动化与实时性,摆脱了传统运维模式下人员成本高、运维效率低、故障处理滞后等不足。通过监测系统与故障诊断之间的实时的数据交互、分析,能够及时识别异常情况,做出故障预警,使得运维人员能够快速掌握设备运行状况、

故障位置、潜在风险等,提高运维工作的前置效应,避免出现大范围停电现象。此外,在辅助维护决策方面。故障诊断算法与监测数据的结合,能够充分发挥智能诊断系统的作用,避免了人为的经验判断错误导致的故障预测偏差问题。将故障诊断结果与实时监测数据进行对比、分析,及时反映出设备故障的早期情况,并对故障趋势进行合理预测,为维修计划的优化调整提供指引,确保备件、人员等具备充足的准备时间,避免出现决策执行滞后的问题。以及设备故障诊断与历史数据相结合,能够更好地印证设备的故障问题,制定出准确的维修策略,将故障风险降至最低,提高电力系统变电运维效率。

6 结语

综述可知,智能监测与故障诊断在电力系统变电运维中的有效应用,能够实现对设备运行情况的实时监测、反馈,设备运行的故障问题也能够实现自动化识别、分析、预警,以较高精度的参数监测与故障预测,为变电系统运行故障的精准预防提供了有效依据。科技不断进步下,智能监测与故障诊断的深度融合也在不断朝着更高水平发展,电力系统变电运维管理的智能化、自动化水平也在不断提升,为故障的快速识别、精确定位、高效处理提供保障,确保电力系统的安全、稳定运行。

参考文献

- [1] 胡荣华.电力系统变电运维中的智能监测与故障诊断研究[J].Mechanical & Electronic Control Engineering, 2024, 6(24). DOI:10.37155/2717-5197-0624-21.
- [2] 王建淘,王宝赓,吕帅飞.电力系统变电运维中的智能监测与故障诊断研究[J].数字化用户, 2025(19).
- [3] 范晨超.智能变电站故障检修系统运维技术研究[C]//江西省电机工程学会2023年年会.国网江西省电力有限公司鹰潭供电公司, 2024.
- [4] 张云辉,张晓峰.浅谈电力系统设备状态监测与故障诊断技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(8):170-173.
- [5] 官文彬.电力系统设备状态监测与故障诊断技术[J].电子乐园, 2019(19):1.