

电力系统自动化设备的故障诊断技术与生产运行可靠性提升

任怡萌

(国网陕西省电力有限公司西安市泾渭新城供电分公司)

【摘要】文章针对电力系统自动化设备故障诊断及生产运行可靠性提升策略进行探讨。在分析常用故障诊断方法的基础上,重点介绍了基于人工智能的故障诊断技术,并从设备管理、运行维护、备品备件管理等方面提出了一系列提升生产运行可靠性的措施。通过实际案例分析,验证了所提措施的有效性,为电力系统自动化设备的稳定运行和电力事业的持续发展提供了理论依据和实践指导。进一步阐述了人工智能技术在故障诊断中的高级应用,如深度学习算法在模式识别和预测性维护中的应用,以及大数据分析在设备健康状态评估中的作用。

【关键词】电力系统自动化设备;故障诊断技术;人工智能;生产运行可靠性;设备管理

中图分类号:TM76

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.158

Fault Diagnosis Technology and Production and Operation Reliability Improvement of Power System Automation Equipment

REN Yi-meng

(State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Xi'an Jingwei New Town Power Supply Branch)

【Abstract】This paper discusses the fault diagnosis technology of power system automation equipment and the improvement strategy of production and operation reliability. Based on the analysis of common fault diagnosis methods, the fault diagnosis technology based on artificial intelligence is mainly introduced, and a series of measures to improve the reliability of production and operation are put forward from the aspects of equipment management, operation and maintenance, and spare parts management. Through practical case analysis, the effectiveness of the proposed measures is verified, which provides a theoretical basis and practical guidance for the stable operation of power system automation equipment and the sustainable development of the power industry.

【Keywords】power system automation equipment; fault diagnosis technology; artificial intelligence; production and operation reliability; equipment management

1 引言

随着社会经济飞速发展,电力系统作为国家能源安全的基石,其稳定运行尤为关键。在此背景下,电力系统自动化设备的作用日益凸显,其安全性和可靠性直接关系到电力系统整体性能。然而,自动化设备在长期运行过程中不可避免地会出现各种故障,如何准确诊断并提高设备的运行可靠性,成为当前电力行业面临的重要课题。本文旨在探讨电力系统自动化设备的故障诊断技术,并提出提升生产运行可靠性的措施,为我国电力事业发展提供参考。

2 电力系统自动化设备故障诊断技术

2.1 常用故障诊断方法

在电力系统自动化设备故障诊断中,信号处理技术至关重要。通过分析设备输出信号的时域波形特征、频域频率变化及时频域小波变换,可识别设备

异常。时域分析展示运行状态,频域分析揭示故障频率变化,小波变换则针对间歇性故障有效。基于模型的诊断方法,如状态估计、参数估计和模型预测,通过卡尔曼滤波等手段,为故障检测与隔离提供支持。数据驱动方法(如支持向量机、随机森林和深度学习网络)无需依赖物理模型,自动提取特征,高效分类故障^[1]。模式识别技术通过对比正常与故障数据模式,提升了诊断的准确性和效率。这些技术的综合应用,显著提高了故障诊断的水平。

2.2 基于人工智能的故障诊断方法

在电力系统自动化设备故障诊断的探索中,人工智能技术的融入开辟了新方向。深度信念网络(DBN)凭借概率生成模型和分层特征学习能力,可巧妙处理高维非线性数据,实现故障特征的精准提取与分类。卷积神经网络(CNN)利用卷积和池化层优势,在时序数据分析中捕捉局部特征,有效识别并

定位故障。递归神经网络(RNN)及其变体(如长短期记忆网络LSTM和门控循环单元GRU)依托对时间序列数据的处理能力,为序列故障诊断提供有力支撑。集成学习技术(如随机森林、梯度提升决策树GBDT)通过融合多模型优势,提升了诊断的精确度和鲁棒性。迁移学习技术的引入,解决标注数据不足难题,实现知识在不同设备间迁移,提高诊断效率。强化学习则通过智能体与环境互动,实现诊断策略动态调整,为实时自适应故障诊断提供可能^[2]。

3 电力系统自动化设备生产运行可靠性措施

3.1 设备管理

作为电力系统自动化设备生产运行可靠性的基石,需采取一系列精细化管理措施。首先,构建全面的设备维护体系,融合预防性、预测性和应急性维护,通过定期检查及先进的状态监测技术(如振动监测、油液分析)提前预防并精准定位故障,确保紧急情况下能迅速响应^[3]。设备故障率计算公式如下:

$$\lambda = \frac{\text{故障次数}}{\text{运行时间}} \quad (1)$$

式(1)中: λ 表示设备故障率,故障次数是指统计时间内设备发生的故障总数,运行时间是指设备在统计时间内的累计运行时间。

其次,实施设备全生命周期管理,从规划到报废的每个环节均严格把控,通过性能数据分析指导维护和更换决策,保持设备最佳运行状态。此外,强化标准化操作,通过制定并执行操作规程,搭配定期技能与安全培训,保障操作环节的可靠性。优化设备配置与布局,根据系统需求动态调整,避免过载运行,提升维护便利性和运行效率。最后,推行设备健康管理,利用物联网和大数据分析等技术,实时监控并评估设备健康水平,为维护管理提供数据支撑,实现设备状态的透明化管理,进而提升整体可靠性。设备可靠性指标(MTBF)计算公式:

$$MTBF = \frac{\text{累计运行时间}}{\text{故障次数} + 1} \quad (2)$$

式(2)中:MTBF表示设备的平均无故障时间,累计运行时间是指设备在统计时间内的总运行时间,故障次数是指在统计时间内设备发生的故障总数,加1是为了避免在故障次数为0时导致分母为零的情况。

3.2 运行维护

3.2.1 优化运行方式

针对电力系统自动化设备的特性,制定精细化运行参数调整策略,实现设备运行最优化。具体而言,通过分析设备的负载特性、温度梯度、振动模式等关键参数,采用自适应控制算法对设备运行参数动态调整。这种调整旨在减少设备磨损、延长使用寿命、降低系统级故障发生概率,进而实现自动化设备潜在故障的早期预警,以便在设备性能劣化前采取预防性维护措施,确保电力系统自动化设备高效可靠运行^[4]。优化运行参数的数学模型如下:

$$\begin{aligned} \min f(\theta, P, T, V) \\ \text{subject to } g(\theta, P, T, V) \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中: \min 表示优化目标函数的最小值; $f(\theta, P, T, V)$ 是目标函数,代表设备运行效率或故障风险, θ 是控制参数集, P 是负载功率, T 是温度, V 是振动幅度; $g(\theta, P, T, V) \geq 0$ 是约束条件函数集,确保调整后的参数满足设备运行的要求。

3.2.2 加强人员培训

为提升运维人员的专业技能与突发情况应对能力,构建系统的培训体系。该体系涵盖理论知识更新、实操技能提升、应急预案演练等多个方面,通过引入案例教学、模拟操作、在线学习等多元化培训手段,提高运维人员的故障识别、诊断与处置能力。此外,培训体系还融入人工智能辅助决策训练,使运维人员能熟练运用智能诊断工具,提升复杂故障场景的分析与处理效率。培训效果量化评价公式如下:

$$E_{\text{train}} = \frac{(S_{\text{post}} - S_{\text{pre}})}{S_{\text{pre}}} \quad (4)$$

式(4)中: E_{train} 表示培训效果指数; S_{post} 为培训后的技能水平评分; S_{pre} 为培训前的技能水平评分。

3.2.3 备品备件管理

建立健全备品备件库存管理体系,保障关键部件的及时供应。通过采用库存优化模型(如经济订货量,EOQ模型),结合设备故障率、备件使用寿命、供应链响应时间等因素,动态调整备品备件库存水平;进一步结合物联网技术实现备品备件的智能追踪与生命周期管理,实时监控备件状态并预测其更换周期,从而提高库存管理效率、降低运维成本^[5]。备件库存优化的计算公式如下:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (5)$$

式(5)中: Q^* 为最优订货量; D 为备件年需求量; S 为单次订货成本; H 为单位备件年持有成本。通过优化备品备件管理,可显著缩短故障处理时间,提升系统的整体可靠性。

4 案例分析

案例背景:某地一220kV变电站,其自动化设备在一段时间内频繁出现故障,影响了电力系统的稳定运行。通过实施故障诊断技术提升和生产运行可靠性措施,对设备进行了优化管理。

4.1 变电站自动化设备故障次数对比分析

通过对图1的深入分析可知,措施实施后故障次数呈现显著下降趋势,这不仅反映了设备健康状况的整体改善,也体现了运维管理效率的提升。此外,故障发生频率的减少直接关联电力系统稳定性和运维成本的有效控制,进一步证明了所采取措施的有效性和必要性。

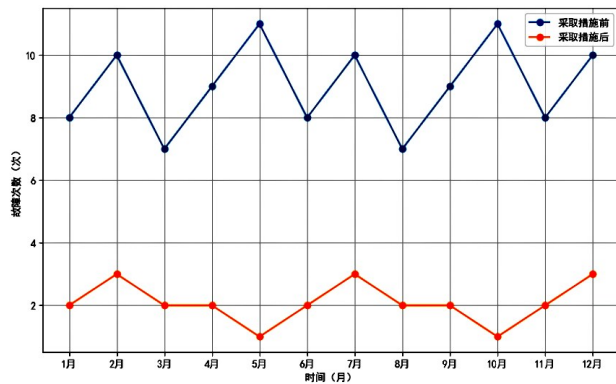


图1 采取措施前后故障次数对比图

图中两条曲线分别表示:措施前故障次数曲线:在采取措施前,故障次数波动较大,平均每月故障次数约为8次。措施后故障次数曲线:在采取措施后,故障次数明显下降,平均每月故障次数降至2次。

4.2 自动化设备可靠性指标MTBF对比分析

在对比分析中,MTBF的提升不仅反映了设备整体可靠性的增强,还间接体现设备维护与管理水平的提升。措施实施对设备故障率产生了显著影响,减少了维护成本和停机时间,从而提高了电力系统的连续供电能力。此外,MTBF的增加也暗示了设备寿命周期的延长,对电力系统长期稳定运行和降低整体运营成本具有深远意义(见表1)。

表1 采取措施前后MTBF对比表

时间段	MTBF/h	故障次数	运行时间/h
措施前	500	80	40000
措施后	1000	20	20000

从数据表中可以看出,采取措施后,设备的MTBF从500小时提升至1000小时,故障次数大幅减少,说明生产运行可靠性得到了显著提升。

5 结语

通过深入研究电力系统自动化设备故障诊断技术,并实践生产运行可靠性措施,可清晰地认识到,提升电力系统的稳定性与可靠性是一项复杂的系统工程。从故障诊断技术的创新应用到设备管理的精细化操作,每一步都至关重要。

实践证明,将先进技术与科学管理深度融合,能够显著降低设备的故障率,有效延长设备的使用寿命,进而为电力系统的安全稳定运行筑牢坚实基础。

未来,随着技术的持续迭代与进步,电力系统自动化设备的故障诊断技术必将朝着更加智能化的方向发展,生产运行的可靠性也将随之进一步提升,为我国电力事业的发展提供坚强支撑。

参考文献

- [1] 李扬笛, 林爽, 郑州, 等. 人工智能处理在自动化变电站保护系统中的实时故障诊断与评估[J]. 自动化与仪器仪表, 2024 (9): 201-205+210.
- [2] 张鹏, 赵晨灏. 人工智能技术在电力自动化控制中的运用[J]. 集成电路应用, 2023, 40 (12): 252-253.
- [3] 郭淋杰. 电力自动化控制中人工智能技术的运用[J]. 电力设备管理, 2023 (12): 162-164.
- [4] 屈濛. 电力系统自动化设备的智能化运维技术研究[J]. 电脑校园, 2021 (12): 9955-9956.
- [5] 李辉. 电力系统中的继电保护设备及其自动化可靠性研究[J]. 数字化用户, 2019, 25 (29): 153.