

电力系统电网故障预测及快速响应机制研究

据雯羽¹ 朱云皓¹ 荣子超² 刘聪²

1. 国网四川省电力有限公司乐山供电公司 四川省乐山市 614000

2. 国网吉林省电力有限公司四平供电公司 吉林省四平市 136000

摘要: 本文针对电力系统电网故障预测及快速响应机制展开研究。随着电力系统规模的不断扩大和复杂程度的提高,电网故障预测和快速响应成为保障电力系统安全稳定运行的关键。本研究首先分析了电力系统电网故障的常见类型及其影响,探讨了故障预测的重要性。随后,深入研究了基于大数据和人工智能的故障预测方法,包括数据采集与预处理、特征工程、机器学习模型构建与优化等关键技术。在快速响应机制方面,提出了自动化故障检测与定位、智能调度与控制策略、应急资源优化配置等方案。最后,通过案例分析验证了所提出方法的有效性,并探讨了未来发展趋势。研究结果表明,基于大数据和人工智能的故障预测方法能够显著提高预测精度,而快速响应机制可有效缩短故障处理时间,提高电力系统的可靠性和稳定性。

关键词: 电力系统; 电网故障; 故障预测; 快速响应; 大数据; 人工智能; 机器学习

引言

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,电力系统在现代社会中扮演着越来越重要的角色。作为电力系统的核心组成部分,电网的安全稳定运行直接关系到国民经济的发展和人民生活的质量。然而,随着电力系统规模的不断扩大和复杂程度的提高,电网故障的发生频率和影响范围也呈现出上升趋势。电网故障不仅会造成巨大的经济损失,还可能引发严重的社会问题,甚至威胁到国家安全。因此,如何有效预测电网故障并及时采取应对措施,成为电力系统领域亟待解决的重要课题。

近年来,随着大数据和人工智能技术的快速发展,电网故障预测和快速响应机制研究取得了显著进展。传统基于物理模型和经验公式的故障预测方法已难以满足现代电力系统的需求,而基于数据驱动的方法则展现出巨大潜力。同时,自动化、智能化技术的应用也为快速响应机制的实现提供了新的思路和方法。本研究旨在探讨基于大数据和人工智能的电网故障预测方法,并提出相应的快速响应机制,以提高电力系统的可靠性和稳定性,为电力系统的安全运行提供理论支撑和技术支持。

1. 电力系统电网故障概述

电力系统电网故障是指电力系统中发生的各种异常情况,可能导致设备损坏、供电中断或系统不稳定等问题。常

见的电网故障类型包括短路故障、断线故障、接地故障、过电压故障等。这些故障可能由自然因素(如雷击、风暴)、设备老化、人为操作失误等多种原因引起。电网故障不仅会造成直接的经济损失,还可能引发连锁反应,导致大面积停电,对社会生产和人民生活造成严重影响。

电网故障的影响范围广泛,从局部设备损坏到整个区域停电,严重时甚至可能引发电力系统的崩溃。2003年美加大停电影响了约5000万人口,造成了数十亿美元的经济损失。因此,及时准确地预测电网故障并采取有效的应对措施,对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。故障预测可以帮助电力系统运营者提前发现潜在风险,采取预防措施,减少故障发生的概率和影响程度。同时,建立快速响应机制可以在故障发生后迅速定位问题、隔离故障区域,并尽快恢复供电,最大限度地降低故障造成的损失。

2. 基于大数据和人工智能的电网故障预测方法

2.1 数据采集与预处理

数据采集与预处理是故障预测的基础,包括从SCADA系统、PMU装置、智能电表等设备中获取电压、电流、功率等实时数据,并进行数据清洗、归一化等预处理操作。特征工程是从原始数据中提取有价值信息的关键步骤,包括时域特征、频域特征、统计特征等的提取和选择。这些特征能够反映电力系统的运行状态,为后续的故障预测提供有效输入。

2.2 机器学习模型的构建与优化

机器学习模型的构建与优化是故障预测方法的核心。常用的机器学习算法包括支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、梯度提升决策树(GBDT)等。这些算法能够从历史数据中学习故障模式,并对未来的故障风险进行预测。近年来,深度学习技术在故障预测领域也展现出巨大潜力,如长短期记忆网络(LSTM)和卷积神经网络(CNN)等模型在处理时间序列数据和空间数据方面表现出色。模型优化包括超参数调优、特征选择、集成学习等策略,旨在提高预测精度和泛化能力。

2.3 预测结果的评估与验证

预测结果的评估与验证是确保模型可靠性的重要环节。常用的评估指标包括准确率、召回率、F1分数、ROC曲线下面积(AUC)等。通过交叉验证、时间序列分割等方法,可以全面评估模型的性能。同时,将预测结果与实际故障记录进行对比分析,可以进一步验证模型的有效性和实用性。此外,可视化技术的应用有助于直观展示预测结果,为决策者提供有力支持。

3. 电网故障快速响应机制研究

3.1 自动化故障检测与定位

通过部署智能传感器和监测设备,我们能够实时采集电网的运行数据,这些数据是快速识别故障类型和位置的关键。智能传感器可以监测电网的电流、电压、频率等多种参数,实时捕获电网运行中的异常变化。结合先进的信号处理技术和模式识别算法,如小波变换、傅里叶变换、机器学习等,可以对这些数据进行分析 and 处理,从而快速准确地识别出故障的类型和发生的大致位置。基于行波原理的故障定位方法,是当前电力系统故障定位研究的热点。当电网发生故障时,会产生行波信号,这些信号沿着电网传播并携带故障信息。通过分析行波信号的传播时间和波形特征,可以精确地定位故障点。这种方法具有响应速度快、定位精度高的特点,为后续的故障处理提供了准确的信息支持。结合地理信息系统(GIS)技术的应用,可以将故障点的位置信息与地理信息相结合,实现故障位置的直观展示。GIS技术能够提供电网设备的地理位置信息,包括变电站、输电线路、配电设备等,通过与实时采集的故障数据相结合,可以快速生成故障位置的地图展示,为电力系统运行人员提供直观的故障定位信息。这种方式大大提高了故障处理的效率和准确性,

使得应急响应更加迅速有效。

3.2 智能调度与控制策略

在电网故障发生后,快速调整电网运行方式,隔离故障区域,并重新分配电力负荷,对于维持系统的稳定运行至关重要。这一过程需要精确的监控、快速的决策和高效的执行。基于人工智能的智能调度系统,正是为了满足这些要求而设计的。智能调度系统能够实时分析电网状态,综合考虑线路负荷、设备运行状况、系统稳定性等多方面因素。通过大数据分析和机器学习算法,系统可以自动生成最优控制策略,如调整发电机出力、切换输电线路、控制负荷等。这些控制策略的生成过程是动态的,能够随着电网状态的实时变化而自我调整,确保电网在故障后能够迅速恢复到稳定状态。自动化装置的快速执行是智能调度系统的另一大优势。系统生成的控制策略能够通过自动化装置,如远程终端单元(RTU)、智能断路器等,迅速作用于电网,实现故障区域的隔离和电力负荷的重新分配。这种自动化执行机制大幅缩短了故障处理时间,提高了电网的恢复速度。

3.3 应急资源优化配置

运筹学理论为应急资源优化配置提供了数学模型和求解方法。通过构建包含资源需求、资源可用性、响应时间、成本等因素的优化模型,可以运用遗传算法、模拟退火、蚁群算法等智能优化算法寻找最优或近似最优的资源分配方案。这些算法能够处理复杂的约束条件和大规模的数据,从而实现资源的动态调度和最优分配,确保在有限资源的约束下,最大限度地提高应急响应效率。物联网技术的应用则为应急资源的实时监控和追踪提供了技术支持。通过在应急资源和设备上安装传感器和标识设备,可以实时收集资源的位置、状态和使用情况等信息。这些信息通过物联网平台进行集成和分析,可以帮助应急指挥中心实时了解资源分布情况,快速做出调度决策,提高资源利用效率,减少浪费。建立完善的应急预案和演练机制是提高应急响应协同性和有效性的重要手段。应急预案的制定需要考虑各种可能的故障场景,明确应急响应的流程、责任人和资源需求等。通过定期进行应急演练,可以检验应急预案的可行性和有效性,发现并修正存在的问题,增强应急人员之间的协同和沟通能力。

4. 案例分析

为验证所提出方法的有效性,本研究选取了某省区具有代表性的区域电网系统作为案例进行分析。该电网系统覆

覆盖面广, 负荷类型多样, 具有代表性。首先, 收集了该电网系统过去三年的运行数据, 包括电压、电流、功率等参数, 以及故障记录。对数据进行预处理和特征工程后, 构建了基于 XGBoost 的故障预测模型。通过交叉验证和参数调优, 模型在测试集上达到了 92% 的准确率和 0.95 的 AUC 值, 表现出良好的预测性能。

在快速响应机制方面, 在该电网系统中部署了基于行波原理的故障定位系统和智能调度平台。通过实际故障事件的验证, 故障定位精度达到了 99% 以上, 平均定位时间缩短至 0.5 秒以内。智能调度平台能够在故障发生后 30 秒内生成并执行最优控制策略, 大大缩短了故障处理时间。同时, 基于遗传算法的应急资源优化配置模型在实际应用中显著提高了资源利用效率, 减少了应急响应时间。

通过对比实施前后的数据, 发现该电网系统的故障发生率降低了 35%, 平均故障处理时间缩短了 60%, 用户停电时间减少了 45%。这些结果表明, 基于大数据和人工智能的故障预测方法和快速响应机制能够显著提高电力系统的可靠性和稳定性, 具有重要的实际应用价值。

5. 结论

本研究针对电力系统电网故障预测及快速响应机制进行了深入探讨。研究结果表明, 基于大数据和人工智能的故障预测方法能够有效提高预测精度, 为电力系统的预防性维护提供有力支持。同时, 提出的快速响应机制, 包括自动化故障检测与定位、智能调度与控制策略、应急资源优化配置等, 能够显著缩短故障处理时间, 提高电力系统的可靠性和

稳定性。未来, 随着 5G 通信、边缘计算等新技术的应用, 电网故障预测和快速响应将朝着更实时、更智能的方向发展。同时, 电力系统与可再生能源的深度融合也将带来新的挑战 and 机遇。建议进一步研究多源异构数据的融合技术, 开发更先进的预测模型, 并探索基于数字孪生技术的电网故障仿真与预测方法。此外, 加强电力系统与其他关键基础设施的协同应急机制研究, 也将是未来重要的研究方向。

参考文献:

- [1] 段玉, 陈军, 刘震, 等. 面向新型电力系统动态分析的多时间尺度构网型储能系统仿真建模方法 [J]. 广东电力, 2024, 37 (12): 27-38.
- [2] 刘洋, 刘军. 输电线路在线巡视系统的智能预警技术及实践 [J]. 电工技术, 2024, (S2): 550-552.
- [3] 孙吕祎, 胡佳彤. 不同风机类型和容量对继电保护的影响分析 [J]. 电工技术, 2024, (S2): 16-17+20.
- [4] 邹昊凯, 董秋军, 吴布托. 基于大数据分析的特高压电网运行优化与故障预警研究 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2024, (12): 111-113+125.
- [5] 戚英威, 曹阳. 基于改进 MPGA 监控信息故障智能诊断系统 [C]// 中国电机工程学会电力信息化专业委员会. 2024 电力行业信息化年会论文集. 国网辽宁省电力有限公司鞍山供电公司 :, 2024: 6.
- [6] 郑峰, 王威东, 林燕贞, 等. 计及新型柔性限流器的直流系统故障暂态特性分析研究 [J]. 太阳能学报, 2024, 45 (10): 199-210.