

大数据分析的输变电线路故障预测与诊断

王智峰

内蒙古电力集团有限责任公司呼和浩特供电分公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要: 本文聚焦于输变电线路故障预测与诊断领域,探讨大数据分析技术在此领域的应用路径。通过梳理输变电线路常见故障类型及成因,深入剖析传统诊断方法的局限性,系统阐述大数据分析技术,包括数据挖掘、深度学习、信息融合等在故障预测与诊断中的具体应用。结合实际案例,验证大数据分析方法在提升故障预测精度与诊断效率方面的有效性,并针对数据质量、模型优化等现存问题提出改进策略,旨在为输变电线路的智能化运维提供理论支撑与实践指导。

关键词: 输变电线路;大数据分析;故障预测;故障诊断

引言: 输变电线路作为电力系统的重要组成部分,承担着电能传输与分配的关键任务,其安全稳定运行直接关系到电力供应的可靠性与稳定性。然而,输变电线路分布广泛、运行环境复杂,易受自然因素(如雷击、强风、覆冰等)和人为因素(如违章施工、外力破坏等)的影响,导致故障频发。传统的故障预测与诊断方法主要基于经验模型和简单的统计分析,难以应对复杂多变的运行环境和海量数据的处理需求,存在预测精度低、诊断效率差等问题。

随着信息技术的飞速发展,大数据分析技术应运而生,并逐渐渗透到各个领域。在电力系统领域,大数据分析技术凭借其强大的数据处理能力和模式识别能力,为输变电线路故障预测与诊断提供了新的思路和方法。通过挖掘海量数据中蕴含的潜在信息,建立精准的故障预测模型和智能的诊断系统,能够有效提高输变电线路的运行可靠性和安全性,降低故障损失,具有重要的理论意义和实际应用价值。

1 输变电线路常见故障类型及成因分析

1.1 故障类型

1.1.1 断路故障: 由导线断裂或接头接触不良引发,导致配电回路数据异常。故障点通常无明显断裂现象,但会产生巨大电弧,使导线温度急剧升高,干扰电力系统正常运行,甚至引发火灾、爆炸等严重安全事故。

1.1.2 短路故障: 因相间绝缘物质被击穿或外部导体跨接导线等导致,可分为单相短路、两相短路、两相接地短路和三相短路。常见表现形式为鸟兽短接或树枝短接,短路电流会瞬间增大,对线路和设备造成巨大冲击。

1.1.3 接地故障: 以单相接地现象为主,是输电线故障中最常见的类型,占比约90%。在潮湿环境或降雨状态下,易引发单相接地故障,若不及时处理,会导致高压

线发热,破坏中间绝缘体。

1.2 故障成因

1.2.1 自然因素: (1) 雷击: 雷击是造成输电线线路闪络最主要的原因。据统计,2011—2013年,国家电网系统输电线线路故障中,50%以上的高压线路跳闸由雷击引起。雷击会使绝缘子闪络放电,使原导电通道转变成绝缘介质,甚至导致避雷针、绝缘子、导线掉落或断裂,造成永久性故障。(2) 强风: 在暴风天气较多的地区,风力对线路的影响显著。飚线风会引发风偏放电现象,飓风或龙卷风则可能导致线路倒塌,严重影响线路的正常运行。(3) 覆冰: 在我国北方地区,覆冰对输电线线路的影响较大。冰层覆盖过厚会引发过载事故,冰层覆盖不均匀时则容易引发杆塔倾倒、线路中断事故,造成巨大损失。(4) 鸟害: 鸟类飞行时叼着的杂物散落或附着在线路上,以及鸟类筑巢和鸟粪闪络,都可能造成输电线线路故障^[1]。

1.2.2 人为因素: 目前,由于人为因素引起的输电线线路跳闸事故呈逐年上升趋势。在输电线线路防护区内私建房屋、大肆修路、开山放炮、围堰挖塘、焚烧等违章违法行为屡禁不止,导致输电线线路和电网系统安全稳定运行受到严重威胁。

2 传统故障预测与诊断方法及其局限性

2.1 传统方法

2.1.1 阻抗法: 阻抗法主要是根据测量线路阻抗与线路长度成正比这一原理来进行故障测距与定位,阻抗的测量可利用发生故障时线路中的电压、电流量进行计算。该方法操作简单,但在某些线路结构和故障情况下无法使用,存在测距死区问题。在实际应用中,阻抗法通常用来辅助寻找故障波头。

2.1.2 行波法: 行波法根据电压和电流行波在线路上

有固定的传播速度这一特点提出,利用故障初期出现的行波电压、行波电流信息,能够在短时间内检出故障。行波法主要有电压行波测距和电流行波测距两种方式,也可结合两种方法来提高测距精度。

2.2 局限性

传统故障预测与诊断方法在面对复杂多变的运行环境和海量数据时,存在明显局限性。阻抗法存在测距死区,无法准确对所有故障进行定位;行波法虽然能快速检出故障,但对数据采集和处理的精度要求较高,且在复杂环境下易受干扰。此外,传统方法主要基于静态模型和历史数据分析,难以捕捉系统动态变化和突发事件的影响,预测精度和诊断效率较低,无法满足现代电力系统对输变电线路安全稳定运行的要求。

3 大数据分析技术及其在输变电线路故障预测与诊断中的应用

3.1 大数据分析技术概述

大数据分析技术是指通过数据挖掘、深度学习、信息融合等方法,对前期预处理的海量数据进行整合分析,从中挖掘有价值的信息以满足用户需求。电力系统中的数据具备大数据标志性的“4V”特征,即规模(Volume)大、类型(Variety)多、价值(Value)密度低和处理速度快(Velocity)。随着电力系统中设备的科技化程度不断提高,传统的故障诊断方法迫切需要得到改进,基于大数据技术的输变电线路故障预测与诊断方法开始迈入智能化阶段。

3.2 具体应用

3.2.1 数据挖掘算法:数据挖掘算法是大数据分析的理论重心,可将不同格式、不同种类的数据为依据,将数据自身潜在特征展现出来。在输变电线路故障预测与诊断中,数据挖掘算法可用于从海量的运行数据、气象数据、设备状态数据等中挖掘与故障相关的特征和规律。例如,通过关联规则挖掘,分析不同因素与故障发生之间的关联关系,建立故障关联规则库,为故障预测提供依据^[2]。

3.2.2 深度学习模型:深度学习模型如循环神经网络(RNN)和长短期记忆网络(LSTM)可以处理时间序列数据,捕捉系统运行状态的动态变化,从而实现潜在故障的早期预警和精准识别。在输变电线路故障预测中,可将历史运行数据、环境数据等作为输入,训练深度学习模型,使其学习到正常和故障状态下的数据特征,进而对未来的故障进行预测。例如,利用LSTM模型对输电线路的负荷数据、温度数据等进行建模,预测线路的过载风险和故障发生概率。

3.2.3 信息融合技术:信息融合技术可将来自不同数据源的信息进行综合处理,提高信息的准确性和可靠性。在输变电线路故障诊断中,可融合线路的运行数据、设备监测数据、气象数据、地理信息数据等多源信息,全面分析线路的运行状态和故障特征。例如,通过融合线路的电流、电压数据和气象数据,判断故障是否由雷击、强风等自然因素引起;融合设备监测数据和运行历史数据,评估设备的健康状况和剩余寿命。

3.2.4 专家系统:专家系统是一种最早问世的大数据算法,并在发展中日益成熟。输电线路中所安装的各项保护设备均具有一定的逻辑关系以及内部联系,具有直观性与模块化。通过将专家系统运用到输电线路设备保护工作中,使输电线路保护设备生产模式具有规范性,能够通过对知识库中的规则进行增添、删除、更改,提高电网智能诊断分析结果的可靠性、真实性,为输电线路后期维护工作提供保证。在某种程度上,专家系统能够对输电线路中不够明确的问题进行处理,并具备相应的解释能力。通过将ES电网故障诊断分析作为输电线路推理机制,运用正反推理系统和启发式规则推理系统,将继电保护、断路器与被保护设备之间的关系明确,正确处理输电线路中所存在的问题,提高输电线路故障处理的准确性、真实性与可靠性^[3]。

3.2.5 人工神经网络:人工神经网络是一种模拟人脑神经系统的网络结构,通过借助计算机技术对人脑神经系统的信息传输过程、信息处理过程进行模拟,构建信息处理系统,具有非线性映射、并行处理、联想记忆、在线学习等特征。在输变电线路故障诊断中,可构建ANN信息处理系统,将电网故障信息转化成数字信息,实现故障信息数字化,并将其逐一输入到ANN中,通过观看ANN信息输出结果,对输电线路故障类型、故障发生点进行判断。

4 案例分析

4.1 基于关联规则和贝叶斯网络的输电线路状态评估

有研究提出了基于关联规则和信念网络的架空输电线路的状态评估方法。结合实际工程中输电线路状态数据和气象数据,采用Hotspot关联算法,形成了输电线路状态关联规则库;结合历史状态数据构建了架空输电线路状态预测贝叶斯网络,构建了输电线路状态预测模型。以GZ电网2016年—2018年实际运行数据对预测结果进行了验证,结果表明该方法评估准确率逐年提高,2016年—2018年评估准确率分别为78.8%、83.8%、90.5%,证明了该方法的有效性。

4.2 基于多维关联信息融合的输电线路雷害风险评估

另有研究提出了基于多维关联信息融合的架空输电线路雷害风险评估方法。采用关联规则量化分析了线路本体特征因子及环境特征因子与架空输电线路雷击故障事故的关联关系；结合信息熵理论、灰色关联理论和证据理论融合了多源关联信息；构建了以数据价值为驱动的输电线路雷害风险评估模型，并以2016年和2017年的实际工程数据验证了该方法的有效性。该方法能够综合考虑多种因素对雷害风险的影响，为输电线路的防雷设计和运行维护提供科学依据。

4.3 基于风速风向联合概率的输电线路漂浮物故障风险评估

还有研究提出了基于风速风向联合概率的输电线路漂浮物故障风险评估方法。以某电网为研究样本，分析了漂浮物故障的时空分布特性，提出了线路漂浮异物跳闸率计算方法，并验证了该方法的有效性。该方法能够准确评估漂浮物对输电线路故障的影响，为输电线路的防异物措施制定提供参考。

5 现存问题与改进策略

5.1 现存问题

5.1.1 数据质量问题

数据质量受到多方面因素的影响，包括数据缺失和噪声干扰。数据缺失可能由于设备故障、人为操作错误或传输问题而产生，直接影响数据集的完整性和分析结果的准确性。噪声干扰则常常由环境干扰、设备故障或传感器误差引起，使原始数据的精确性受到质疑，从而影响后续的数据处理和模型建设过程。数据采集和清洗过程本身也面临诸多困难和挑战，如设备兼容性、数据格式不一致等问题，以及数据去重、异常值处理、数据格式转换等技术难题，都需要耗费大量时间和资源，且需要高度的技术专业性和经验。

5.1.2 模型优化问题

虽然深度学习等大数据分析模型在输变电线路故障预测与诊断中取得了一定的成果，但模型仍存在优化空间。例如，模型的训练过程需要大量的标注数据，而实际中获取高质量的标注数据成本较高；模型的泛化能力有待提高，在不同地区、不同运行环境下的适应性存在差异；模型的解释性较差，难以直观地理解模型的决策过程和依据。

5.1.3 实时性问题

输变电线路故障具有突发性和快速传播性，对故障预测与诊断的实时性要求较高。然而，大数据分析过程

中涉及海量数据的采集、传输、存储和处理，可能会导致一定的延迟，影响故障的及时处理。此外，模型的更新和维护也需要一定的时间，无法及时适应线路运行状态的变化。

5.2 改进策略

5.2.1 提升数据质量管理

开发高效的数据清洗和预处理算法，自动检测和修复数据中的缺失值、异常值和重复记录，提高数据的准确性和完整性。通过数据标准化和格式化，确保不同数据源的一致性和可比性，有效减少由数据质量问题引发的分析误差和决策偏差。利用先进的传感技术和数据采集设备进行实时监测和反馈数据质量情况，包括对数据采集过程中存在的环境干扰和设备故障进行实时检测，及时调整数据采集策略并修复数据损坏，保证采集到的数据质量始终处于高水平。建立数据质量管理的标准化流程和指导原则，培养相关人员的技能和意识，确保数据质量管理工作得到系统化和持续的推进。结合人工智能和机器学习技术，建立数据质量监控和自动化反馈系统，实时预警和处理数据异常，提升数据处理效率和响应能力^[4]。

结论：本文通过对输变电线路常见故障类型及成因的分析，揭示了传统故障预测与诊断方法的局限性，系统阐述了大数据分析技术在输变电线路故障预测与诊断中的应用。通过实际案例验证，大数据分析方法能够显著提高故障预测精度和诊断效率，为输变电线路的智能化运维提供了有力支持。然而，目前仍存在数据质量、模型优化和实时性等问题，需要进一步研究和改进。未来，应加强数据质量管理，优化模型性能，提高实时性，不断完善大数据分析在输变电线路故障预测与诊断中的应用体系，推动电力系统的智能化发展。

参考文献

- [1]赵庆周,李勇,田世明,等.基于时空关联规则与改进贝叶斯网络的输电线路故障预测[J].电网技术,2023,47(12):4789-4798.
- [2]刘忠.基于智能技术的电力线路故障诊断与预测方法研究[D].华中科技大学,2024.
- [3]王沛,张宁,陈浩,等.基于图神经网络的输电线路故障传播路径识别[J].电测与仪表,2022,59(08):1-8.
- [4]吴小刚.基于大数据分析的电力系统故障预测与诊断方法[J].通信电源技术,2024,41(13):243-245.