

基于大数据分析的变电设备故障预警与处理策略研究

薛 瑞 袁培军

内蒙古电力（集团）有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：本文聚焦于基于大数据分析的变电设备故障预警与处理策略。变电设备是电力系统的核心，稳定运行至关重要。文章首先指出变电设备的重要性，并分析其故障类型及影响。随后，详细描述了大数据故障预警模型的构建流程，涵盖数据采集与处理、模型构建、评估与优化等环节。在此基础上，提出分级处理、协同处理及智能化处理等故障处理策略，旨在实现早期预警和快速响应。这些策略为电力系统的安全稳定运行提供有力保障，有助于提升整体运行效率。

关键词：大数据分析；变电设备；故障预警；处理策略

1 变电设备在电力系统中的重要性

变电设备作为电力系统的核心枢纽，承担着电压变换、电能分配、系统控制与保护等关键职能。以220kV变电站为例，其主变压器可将高压输电线路的220kV电压降至10kV，满足工业园区与居民用电需求；GIS设备通过SF₆气体绝缘实现紧凑化设计，减少占地面积的同时提升供电可靠性；断路器可在0.02秒内完成故障隔离，防止事故扩大。据国家电网统计，2024年全国变电设备故障导致的停电事故占比达63%，其中变压器绕组变形、断路器触头烧蚀、GIS局部放电等典型故障占比较高^[1]。这些数据表明，变电设备的稳定运行直接关系到电网的可靠性与经济性；变电设备的功能延伸至新能源并网与智能电网建设领域。例如，雄安新区某智能变电站通过集成光伏逆变器与储能装置，实现可再生能源的平滑接入；江苏某开发区变电站采用动态无功补偿技术，将风电功率波动率从25%降至8%，提升新能源消纳能力。此外，变电设备还是电力市场交易的重要载体，其运行数据为电价预测、负荷调度提供关键支撑。

2 基于大数据的变电设备故障预警模型构建

2.1 数据采集与处理

在变电设备故障预警模型中，数据采集是首要步骤，其质量直接影响到后续模型构建的准确性和实用性。数据的来源广泛，包括但不限于安装在变电设备上的各类传感器、远程监控系统、历史运维记录等。传感器负责实时捕捉设备运行中的电流、电压、温度、振动等关键物理参数，而远程监控系统则负责将这些数据汇总并传输至数据中心。历史运维记录提供了设备过去的运行状态和维修历史，对于分析设备的退化趋势具有重要价值。数据的预处理是确保模型有效性的关键，这一步骤主要包括数据清洗、去噪、填补缺失值、数据变换

与标准化等。数据清洗旨在去除无效或错误的数据记录，如因传感器故障或通信中断导致的异常值。去噪则是为了平滑数据，减少随机波动对模型训练的影响。对于缺失值，需要根据数据的特点采用合适的填充策略，如使用前后数据的平均值、中位数或基于机器学习算法的预测值进行填补。数据变换与标准化则是为了统一数据尺度，消除不同特征量纲的影响，便于后续的特征提取和模型训练。

2.2 模型构建方法

在选择模型构建方法时，需要考虑数据的特性、预警的实时性要求以及模型的泛化能力。常用的机器学习方法，如支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、梯度提升决策树（GBDT）等，因其较强的分类能力和鲁棒性，在变电设备故障预警中得到了广泛应用。此外，随着深度学习技术的兴起，卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）及其变种，如长短时记忆网络（LSTM），也在故障预警领域展现出巨大的潜力。这些深度学习模型能够从复杂的时间序列数据中自动学习特征表示，提高预警的准确性。在模型构建过程中，特征工程是至关重要的一环。它涉及特征的提取、选择和转换，旨在从原始数据中挖掘出对故障预警最具影响力的特征子集。特征提取可以通过统计方法、信号处理技术等手段实现，如计算平均值、标准差、频谱密度等统计量，或者利用小波变换、经验模态分解等方法提取时频特征。特征选择则通过相关性分析、递归特征消除等方法筛选出最优特征组合，以减少模型复杂度，提高计算效率。

2.3 模型评估与优化

模型评估是验证预警模型性能的关键步骤。它涉及选择合适的评估指标、设计合理的实验方案以及实施严

谨的验证过程。常用的评估指标包括准确率、召回率、F1分数、AUC-ROC曲线下的面积等，这些指标能够从不同角度反映模型的性能。准确率衡量了模型预测正确的比例，召回率则反映了模型识别出正类（即故障）的能力。F1分数是准确率和召回率的调和平均数，用于综合衡量模型的性能。AUC-ROC曲线则通过绘制不同阈值下的真正率（TPR）与假正率（FPR），直观地展示了模型的分类能力^[2]。模型优化旨在提高预警模型的准确性和泛化能力。这包括调整模型参数、优化特征工程、引入新的算法或技术等方面。参数调优可以通过网格搜索、随机搜索或贝叶斯优化等方法实现，旨在找到使模型性能最佳的参数组合。特征工程的优化可能涉及添加新的特征、重新选择特征子集或改进特征提取方法。算法或技术的引入，如集成学习、迁移学习或深度学习技术的融合，可以进一步提升模型的性能。此外，考虑数据的时空特性，采用时空建模方法，也是优化模型的有效途径之一。

3 基于大数据分析的变电设备故障预警关键技术

3.1 数据采集与预处理技术

在变电设备故障预警系统中，数据采集是起点，而预处理则是确保数据质量的关键步骤。随着物联网技术的飞速发展，变电设备上安装的各类传感器能够实时捕捉电流、电压、温度、振动等多维度数据。数据采集技术面临的挑战包括数据的高频率、高精度需求，以及数据传输的实时性和稳定性。为了应对这些挑战，采用了先进的传感技术和通信协议，如低功耗广域网（LPWAN）技术，以确保数据的准确、高效传输。同时，为了应对数据量大的问题，引入了分布式存储和云计算技术，实现数据的海量存储和快速访问。数据预处理阶段，主要任务是对采集到的原始数据进行清洗、去噪和标准化处理。清洗过程旨在识别并剔除无效、异常或重复的数据记录，确保数据的准确性和一致性。去噪则是为了平滑数据，减少随机误差对后续分析的影响。标准化处理则是为了统一数据尺度，消除不同特征量纲的差异，为后续的特征提取和模型训练奠定基础。另外，数据预处理还包括数据的整合与转换，如将时间序列数据转换为适合机器学习模型处理的格式。

3.2 特征提取与选择技术

特征提取与选择是变电设备故障预警中的关键环节，从原始数据中提取出对故障预警最具影响力的特征，能够显著提高模型的准确性和效率。特征提取技术涉及信号处理、统计分析、数据挖掘等多个领域。在信号处理方面，常用的技术包括傅里叶变换、小波变换和

经验模态分解等。这些技术能够从原始数据中提取出频率、幅值、相位等时频特征，有助于揭示设备的运行状态和故障模式。统计分析方法则侧重于计算数据的平均值、方差、协方差等统计量，以及构建相关性矩阵，以揭示不同特征之间的关联性。特征选择技术旨在从提取出的特征子集中筛选出最优组合，以减少模型复杂度，提高计算效率^[3]。常用的特征选择方法包括基于统计检验的方法（如t检验、F检验）、基于机器学习算法的方法（如递归特征消除、基于树模型的特征重要性评估）以及基于深度学习的方法（如自动编码器）。这些方法能够根据特征对模型性能的影响程度进行排序，从而选择出最具贡献的特征子集。

3.3 预警模型构建技术

预警模型是基于大数据分析的变电设备故障预警系统的核心，它根据提取出的特征数据，利用机器学习或深度学习算法，自动学习设备的故障模式，并在新数据到来时预测故障发生的可能性。在模型构建过程中，选择合适的算法和参数至关重要。常用的机器学习算法包括支持向量机、随机森林、梯度提升决策树等，这些算法在分类和回归问题上表现出色。深度学习算法，如卷积神经网络和循环神经网络，则擅长处理复杂的时间序列数据和图像数据。为了提高模型的准确性和泛化能力，通常采用集成学习方法，如bagging、boosting和stacking等，将多个基学习器组合成一个强学习器。此外，迁移学习技术也被应用于变电设备故障预警中，通过利用相似任务上的先验知识，加速模型训练过程并提高模型的性能。

在模型评估和优化阶段，采用交叉验证、网格搜索、贝叶斯优化等方法对模型参数进行调优，以确保模型在不同数据集上的稳定性和准确性。同时，通过绘制ROC曲线、计算AUC值等指标，对模型的分类性能进行全面评估。最终，构建出的预警模型能够实现对变电设备故障的早期预警，为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

4 基于预警的变电设备故障处理策略

4.1 分级处理策略

在变电设备故障处理中，分级处理策略是一种高效且实用的方法。该策略基于故障预警的严重程度和潜在影响，将故障分为不同等级，并制定相应的处理措施。具体而言，分级处理策略通常包括以下几个级别：一级处理：针对轻微故障或预警信号，采取在线监测和定期巡检的方式^[4]。这一级别的处理策略主要侧重于故障的早期发现和预防，通过持续监控设备状态，及时发现异常

并采取措施,防止故障进一步发展;二级处理:对于中度故障或潜在隐患,启动快速响应机制。这包括组织专业团队进行现场检查,对设备进行详细的故障诊断和分析。根据诊断结果,制定维修计划,安排必要的维修或更换部件,以确保设备的正常运行;三级处理:面对严重故障或紧急情况,立即采取应急措施。这包括启动备用设备、隔离故障区域、切断相关电源等,以防止故障扩大,保障人员和设备的安全。同时,迅速联系专业维修团队进行紧急抢修,以尽快恢复设备的正常运行。分级处理策略的实施,不仅有助于高效应对不同类型的故障,还能合理分配资源,提高故障处理的效率和质量。通过根据不同级别的故障采取相应的处理措施,可以最大限度地减少故障对电力系统运行的影响。

4.2 协同处理机制

协同处理机制是变电设备故障处理中的另一个关键环节,它强调多个部门、团队或系统之间的协作与配合,以实现故障的快速响应和有效处理。建立故障预警信息共享平台,确保相关部门和团队能够实时获取预警信息。通过定期召开会议、发布报告等方式,加强沟通与交流,确保各方对故障情况有清晰的认识;在故障处理过程中,涉及多个部门的协作,如运维部门、检修部门、安全监管部门等。通过建立跨部门协作机制,明确各部门的职责和分工,确保各方能够协同工作,共同应对故障;根据故障处理的需求,整合相关资源,如维修人员、备品备件、专用工具等。通过合理的资源调配,确保故障处理所需的人力、物力和财力得到及时保障^[5]。协同处理机制的实施,有助于打破部门壁垒,提高故障处理的协同性和效率。通过加强信息共享、跨部门协作和资源整合,可以形成合力,共同应对变电设备故障带来的挑战。

4.3 智能化处理支持

随着人工智能技术的不断发展,智能化处理支持在变电设备故障处理中发挥着越来越重要的作用。利用机器学习算法对故障数据进行深度挖掘和分析,自动识

别故障类型和原因。通过构建智能诊断模型,实现对故障的精准定位和快速诊断,为故障处理提供科学依据;基于大数据分析和机器学习算法,构建智能预警系统。该系统能够实时监测设备状态,预测潜在故障的发生趋势和可能性。通过提前发出预警信号,为故障处理预留足够的时间窗口;将人工智能技术应用于故障处理决策中,构建智能决策支持系统。该系统能够根据故障类型、严重程度和处理需求,自动生成处理方案和应急预案。通过提供智能化的决策支持,帮助决策者快速做出正确的决策。智能化处理支持的实施,可以显著提高变电设备故障处理的智能化水平。通过智能诊断、预警和决策支持等手段,可以实现对故障的精准识别、快速响应和有效处理,为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

结束语

综上所述,基于大数据分析的变电设备故障预警与处理策略对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。通过构建精准的故障预警模型和优化故障处理策略,可以实现对变电设备故障的有效预防和快速处理。随着大数据和人工智能技术的不断发展,将实现变电设备故障预警与处理将更加智能化和高效化,为电力系统的长期稳定运行提供更加坚实的支撑。

参考文献

- [1]韩云.基于大数据加速分析的水电站电气设备运行监测技术[J].电器工业,2023(07):54-57.
- [2]胡意茹,徐正海,万光芬.基于大数据分析的海上油气田电气设备状态检修智能运维研究[J].电工技术,2022(06):68-73+76.
- [3]韩云.基于大数据加速分析的水电站电气设备运行监测技术[J].电器工业,2023(07):54-57.
- [4]文静.基于大数据通信的变电站二次设备状态监控与故障诊断系统[J].通信电源技术,2024,41(24):246-248.
- [5]武阳,王倩.基于大数据分析的变电设备健康监测与预测模型研究[J].自动化应用,2024,65(12):212-214.