

智慧变电站背景下监控数据的智能分析与决策支持研究

李莹 邬青

内蒙古电力(集团)有限责任公司乌海供电公司 内蒙古 乌海 016000

摘要: 智慧变电站作为智能电网核心, 依托先进技术实现设备状态感知与运维决策智能化。本文聚焦监控数据, 先阐述其来源与质量问题, 研究了数据采集与预处理、特征提取与选择、智能分析算法等关键技术, 构建故障诊断、状态评估、运维决策优化模型, 设计系统架构与功能模块, 依托多技术实现系统开发。旨在通过智能分析提升运维效率, 为电力系统智能化升级提供理论与技术支持。

关键词: 智慧变电站; 监控数据; 智能分析; 决策支持

引言: 在电力系统数字化、智能化升级浪潮下, 智慧变电站成为关键节点。传统变电站“被动运维”模式难以满足需求, 智慧变电站借助物联网等技术实现“主动预判”。监控数据作为智慧变电站的核心资产, 其智能分析与决策支持至关重要。深入探究监控数据的智能分析方法与决策支持模型, 有助于提升变电站运维水平, 保障电网安全稳定运行, 推动电力系统向智能化迈进。

1 智慧变电站监控数据概述

1.1 智慧变电站的概念

智慧变电站是基于物联网、大数据、人工智能等先进技术, 实现变电站设备状态感知、数据智能分析、运维精准决策的现代化电力设施, 是智能电网的核心组成部分。其核心特征在于“智慧化”, 区别于传统变电站, 智慧变电站通过全域感知设备实现各类运行数据的实时采集, 依托高速通信网络构建数据交互通道, 借助智能算法完成数据的深度解析与态势预判, 最终达成设备运维智能化、故障处置自动化、资源配置优化的目标^[1]。智慧变电站不仅承担着电力传输与转换的基础功能, 更通过数据驱动实现了从“被动运维”向“主动预判”的转型, 为电网的安全稳定运行提供了核心支撑, 是推进电力系统数字化、智能化升级的关键节点。

1.2 监控数据的来源

智慧变电站监控数据来源广泛, 主要涵盖设备运行数据、环境感知数据、操作记录数据三大核心类别。设备运行数据是核心数据源, 来源于变压器、断路器、隔离开关等关键电力设备的内置传感器与智能监测装置, 包括电压、电流、功率、温度、绝缘状态等实时运行参数; 环境感知数据来源于变电站内部署的温湿度传感器、烟雾传感器、SF6气体传感器、视频监控设备等, 用于捕捉站内温湿度变化、气体泄漏、火灾隐患、人员活动等环境与安全相关信息; 操作记录数据来源于运维人员的现

场操作记录、远程控制指令日志、设备检修记录等, 包括操作时间、操作类型、检修内容、故障处置过程等信息。

1.3 监控数据的质量问题

智慧变电站监控数据在采集、传输与存储过程中易出现多种质量问题, 主要表现为数据缺失、数据噪声、数据不一致、数据冗余四类。数据缺失多因传感器故障、通信链路中断、设备断电等导致, 如关键设备温度数据采集中断, 影响状态评估准确性; 数据噪声源于传感器自身误差、电磁干扰、环境干扰等, 表现为数据出现异常波动或偏离真实值的情况, 例如电压数据因电磁干扰出现尖峰脉冲; 数据不一致源于不同设备采集精度差异、数据校准不及时、多源数据时间同步偏差等, 如同一设备的电流数据在不同监测节点呈现差异值; 数据冗余则因重复部署监测设备、数据采集频率设置不合理等导致, 如同一运行参数被多个传感器重复采集, 增加存储与分析负担。

2 监控数据智能分析关键技术研究

2.1 数据采集与预处理技术

数据采集与预处理技术是智慧变电站监控数据智能分析的基础, 直接决定后续分析结果的可靠性。数据采集技术以“全域感知、精准同步”为核心, 采用高速传感技术、边缘计算技术与同步时钟技术, 通过部署高精度智能传感器、边缘采集终端, 实现多源数据的实时采集与本地初步处理, 减少传输延迟; 同时依托IEEE1588精密时钟同步协议, 确保不同设备、不同节点采集数据的时间一致性。预处理技术主要针对采集数据的质量问题展开, 核心环节包括数据清洗、数据集成、数据转换与数据规约。数据清洗通过异常值检测、缺失值填充、噪声过滤等方法修复数据质量, 如采用插值法填充缺失数据、使用平滑滤波消除噪声; 数据集成将多源异构数据(如设备数据、环境数据)统一整合至数据仓库, 解

决数据格式差异问题；数据转换通过标准化、归一化处理，将数据转换为适合算法分析的格式；数据规约通过降维、压缩等方式减少数据量，提升分析效率，为后续特征提取与智能分析奠定坚实基础^[2]。

2.2 特征提取与选择技术

特征提取与选择技术是从海量监控数据中挖掘有效信息的关键，其核心目标是筛选出能准确反映设备状态、故障特征的核心指标，降低分析维度，提升算法效率。特征提取技术针对不同数据类型采用差异化方法，对于时序型数据（如设备电压、电流时序曲线），采用时域分析（如均值、方差、峰值提取）、频域分析（如傅里叶变换、小波变换）提取动态特征；对于数值型数据（如温度、绝缘电阻值），采用统计分析方法提取趋势特征与阈值特征；对于图像视频数据（如设备外观监测视频），采用深度学习中的卷积神经网络（CNN）提取纹理特征、形态特征。特征选择技术则通过过滤式、包裹式、嵌入式三类方法筛选最优特征子集，过滤式方法基于特征相关性筛选有效特征，包裹式方法结合后续分析算法评估特征有效性，嵌入式方法将特征选择融入算法训练过程。通过特征提取与选择，可剔除冗余信息，强化关键特征，提升智能分析的精准度与效率。

2.3 智能分析算法

智慧变电站监控数据智能分析算法涵盖传统机器学习与深度学习两大类，根据应用场景差异化选型。传统机器学习算法在设备状态评估、简单故障诊断中应用广泛，主要包括支持向量机（SVM）、随机森林、逻辑回归、聚类分析等，例如采用随机森林算法融合多维度设备运行数据，实现设备健康状态分级评估；采用聚类分析算法识别数据中的异常模式，定位潜在故障隐患。深度学习算法凭借强大的特征学习与复杂数据处理能力，在复杂故障诊断、时序趋势预判中优势显著，主要包括循环神经网络（RNN）、长短期记忆网络（LSTM）、卷积神经网络（CNN）等，如采用LSTM算法分析设备运行时序数据，实现故障的提前预判；采用CNN算法分析设备红外图像、外观视频数据，识别细微故障特征。另外，强化学习算法在运维决策优化中逐步应用，通过与环境的交互学习，生成最优运维策略，各类算法的融合应用已成为提升分析精度的主流趋势。

3 基于智能分析的决策支持模型构建

3.1 故障诊断决策模型

故障诊断决策模型以智能分析算法为核心，依托多源监控数据实现变电站设备故障的精准定位、类型识别与原因分析。模型构建流程包括故障特征库建立、算法

选型与训练、模型验证与优化三大环节^[3]。首先通过历史故障数据挖掘、专家经验总结，建立涵盖变压器匝间短路、断路器拒动、绝缘老化等常见故障的特征库，明确不同故障对应的特征指标与阈值；随后基于故障特征库，选择适配的智能算法（如LSTM、CNN与随机森林融合算法），输入标注后的历史监控数据进行模型训练，优化算法参数，提升故障识别精度；最后通过实时监控数据与模拟故障数据对模型进行验证，确保模型能准确识别故障类型、定位故障位置，并输出故障原因分析结果。模型运行时，实时接收预处理后的监控数据，通过特征匹配与算法分析，快速输出故障诊断报告，为运维人员提供精准的故障处置指导，缩短故障处置时间。

3.2 状态评估决策模型

状态评估决策模型旨在通过持续分析设备运行数据，实现对变电站设备健康状态的动态评估与趋势预判，为预防性运维提供支撑。模型以“全生命周期管理”为核心，构建多维度评估指标体系，涵盖设备运行参数、历史故障记录、检修记录、环境影响因素等指标，采用层次分析法（AHP）确定各指标权重，结合模糊综合评价法将定性指标与定量指标融合，实现状态的量化评估。模型引入时序预测算法（如LSTM）分析设备运行参数的变化趋势，预判设备状态演变方向，识别潜在健康隐患。评估结果分为“正常、注意、异常、严重”四个等级，针对不同等级输出差异化建议，如“注意”等级提示加强监测频率，“异常”等级建议安排专项检修。

3.3 运维决策优化模型

运维决策优化模型基于故障诊断结果与状态评估结论，结合电网运行需求、运维资源配置情况，生成最优运维策略。模型核心是多目标优化问题，目标包括最小化运维成本、最大化设备可靠性、最短化停电时间等，约束条件涵盖运维人员数量、检修设备availability、电网负荷需求等。模型采用强化学习、遗传算法等智能优化算法，融合历史运维数据、专家经验、电网调度指令等信息，对运维方案进行多维度评估与优化，输出具体的运维任务、时间安排、人员配置、资源调配方案。例如，当模型预判多个设备存在潜在故障时，可结合设备重要程度、电网负荷低谷时段，优化检修顺序与时间，减少对电网供电的影响；当出现突发故障时，模型快速匹配最优故障处置方案，指导运维人员高效开展抢修工作。通过该模型，可实现运维资源的合理配置，提升运维效率与决策科学性。

4 智慧变电站监控数据智能分析与决策支持系统实现

4.1 系统总体架构设计

智慧变电站监控数据智能分析与决策支持系统采用分层架构设计,从上至下分为应用层、智能分析层、数据处理层、数据采集层与感知层,各层通过标准化接口实现数据交互与协同工作。感知层由各类传感器、智能监测设备、视频监控装置组成,负责采集设备运行数据、环境数据等原始数据;数据采集层部署边缘采集终端与通信设备,实现原始数据的汇聚、传输与本地缓存,采用5G、工业以太网等通信技术保障数据传输的实时性与稳定性;数据处理层负责数据的预处理、存储与管理,通过数据清洗、集成、转换等技术提升数据质量,依托分布式数据库实现海量数据的安全存储;智能分析层集成各类智能算法与决策模型,完成故障诊断、状态评估、运维决策优化等核心分析任务;应用层面向运维人员、调度人员提供可视化界面,包括状态监测、故障告警、决策建议、报表生成等功能模块,实现分析结果的直观呈现与业务应用。架构还包含安全防护层,通过数据加密、访问控制、入侵检测等技术保障系统安全。

4.2 系统功能模块设计

系统功能模块围绕“数据处理-智能分析-决策应用”全流程设计,主要包括数据采集与管理模块、智能分析模块、决策支持模块、可视化展示模块与系统管理模块。数据采集与管理模块负责多源数据的实时采集、传输、预处理与存储,支持多种通信协议适配,具备数据质量检测与修复功能,可实现数据的分类管理与历史追溯;智能分析模块包含故障诊断、状态评估、趋势预测三个子模块,分别实现故障的精准识别、设备状态的量化评估与运行趋势的预判;决策支持模块基于智能分析结果,生成故障处置方案、运维计划、资源调配建议等决策内容,支持决策方案的审核与下发;可视化展示模块采用图表、地图、视频等多种展示形式,直观呈现设备运行状态、故障信息、运维进度等内容,支持数据钻取、多维度查询功能;系统管理模块负责用户管理、权限配置、日志管理、系统参数设置等功能,保障系统的稳定运行与安全管控。各模块功能独立又相互协同,形成完整的业务闭环。

4.3 系统开发与实现技术

系统开发与实现依托多技术融合支撑,涵盖开发语言、数据库技术、算法框架、通信技术等多个领域。开发语言方面,前端采用Vue.js、ElementUI框架实现可视化界面开发,保障界面的交互性与兼容性;后端采用Java、Python语言开发,Java用于构建稳定的业务逻辑层与接口服务,Python用于实现智能算法的开发与集成。数据库技术采用分布式数据库架构,结合MySQL关系型数据库与MongoDB非关系型数据库,MySQL用于存储结构化数据(如设备信息、操作记录),MongoDB用于存储海量非结构化数据(如视频数据、时序运行数据),保障数据存储的高效性与扩展性^[4]。算法框架采用TensorFlow、PyTorch实现深度学习算法开发,结合Scikit-learn框架实现传统机器学习算法集成。通信技术采用5G、工业以太网、WiFi等多技术融合,保障数据传输的实时性;同时采用Docker容器化技术实现系统部署,提升系统的可移植性与运维效率,确保系统在不同变电站场景下的稳定落地。

结束语

本文围绕智慧变电站监控数据,在智能分析与决策支持方面展开研究,取得一定成果。通过关键技术研究、模型构建与系统实现,提升了故障诊断准确性、状态评估科学性与运维决策合理性。然而,智慧变电站发展迅速,未来需持续优化算法、完善模型,以适应复杂多变的场景。期望本文研究能为相关领域发展提供参考,推动智慧变电站技术不断进步,助力电力系统智能化升级。

参考文献

- [1]季猛.智慧变电站孪生系统技术的应用研究[J].科技资讯,2025,23(5):93-95.
- [2]马晓昆,梁薇,李雨,等.智慧变电站智能运检方案[J].电工技术,2022(10):39-41,138.
- [3]王尚鹏,唐登平,雷鸣,等.智慧变电站计量系统综合误差模型研究[J].电测与仪表,2023,60(9):183-187.
- [4]孙楠.基于大数据分析的智慧变电站故障预警系统[J].农村电气化,2025(7):50-52,80.