故障抢修处理中电能质量在线监测系统的应用研究

王岩松　孟磊　周俊言　蒋红艳　王璐瑶
国网天津市电力公司武清供电分公司　天津　301700

【摘　要】现阶段生活水平和社会生产能力持续提升，对电能的使用质量提出更高要求。为进一步保障电能质量，确保满足最新的社会电能需求，需要引进先进的技术措施加强质量管理。其中故障是电能质量的主要影响因素，在故障维修环节，可引入高效精准的在线监测技术，构建完善的监测系统，控制电能质量。因此故障抢修处理中电能质量在线监测系统的应用研究受到广泛关注，基于此，简单分析系统的应用价值，深入探讨相关的设计要点与应用策略，以供参考。

【关键词】故障抢修；电能质量；在线监测

Application research on online monitoring system for power quality in fault repair and handling

Wang Yansong　Meng Lei　Zhou Junyan　Jiang Hongyan　Wang Luyao
State Grid Tianjin Electric Power Company Wuqing Power Supply Branch Tianjin　301700

【Abstract】At present, the continuous improvement of living standards and social production capacity has put forward higher requirements for the quality of electricity use. To further ensure the quality of electricity and meet the latest social demand for electricity, it is necessary to introduce advanced technological measures to strengthen quality management. Among them, faults are the main influencing factors of power quality. In the process of fault maintenance, efficient and accurate online monitoring technology can be introduced to build a complete monitoring system and control power quality. Therefore, the application research of online monitoring system for power quality in fault repair and handling has received widespread attention. Based on this, this paper briefly analyzes the application value of the system, and deeply explores the relevant design points and application strategies for reference.

【Key words】fault repair; Power quality; online monitoring

引言：

近年来在电力需求不断提升的背景下，不同电力系统和电网广泛运用，运行质量也受到广泛关注。但结合实际调研可以发现，部分地区电力系统和电网的信息化程度不足，未能利用数智化的线上监测手段，定期排查潜在运行故障与电能质量问题，影响系统和电网的健康运行。为改变这一现状，本文围绕故障抢修处理中电能质量在线监测系统的设计和应用，开展具体研究。

1.故障抢修处理中电能质量在线监测系统的应用价值

1.1 节约电能成本

除了监测电能质量，电能质量在线监测系统还能够实时监测电力系统的用电情况，包括具体的电能消耗量、系统的功率因数等。之后分析系统中的各类用电数据，明确系统现存的电力能源浪费问题，采取优化电力系统运行参数等措施解决问题，确保优化配置与规范利用能源，实现减少电能损耗，节约电能成本。

1.2 提高故障抢修效率

电能质量在线监测系统能够实时监测电网中的电流、电压、频率等参数，如果识别出异常会立即预警，迅速定位故障位置，根据具体参数值分析查明故障原因，并预测电能质量问题的发生趋势，有助于减少故障排查时间，提高故障抢修的效率。

1.3 增强用电安全性

故障抢修处理时，电能质量在线监测系统可全面分析电网和电力系统中的潜在电能质量问题，主要包括电压暂降、电压失调等，针对性处置解决，防止影响电网和电力系统的稳定运行[1]。并且系统具有预防功能，抢修时可以预测评估电网中的故障信息，如过载、短路、接地故障等，及时有效制定预防方案，避免用电时出现安全隐患。

2.电能质量在线监测系统的设计分析

2.1 软件设计

系统中需要设计软件，辅助进行故障抢修处理，主要由不同的子功能模块组成。其中利用报表子模块，可处理所采集到的电能质量参数，并在处理后，以表格形式存储数据，向系统的数据库传输重要的参数，或将数据向系统的上位机传输。系统中可专门设计系统参数子模块软件，其中信号调理部分的主要功能为处理系统输入的故障信号，可进行滤波、放大、A/D 格式转换处理。该模块中数据采集部分的主

要功能为处理格式转换后的数据，在数据 A/D 转换后，可以向单片机的 EEPROM 中传输，之后单片机能够利用定时器部件的定时和中断等功能，实时处理数据，最后将处理结果在系统的数据库中存储。

此外，系统中可专门设计软件平台，选择实时监控界面、数据分析引擎、异常检测模块、故障预警机制，作为平台的核心框架，能够支持 10 万点/s 的数据刷新速率，减少电力故障的延迟响应时间，控制在 200ms 以内。例如，利用数据分析引擎架构，能够以小波变换的形式，多角度处理外部环境输入的电流信号，提取 8 个特征频段能量值。利用软件平台的异常检测模块，可建立支持向量机模型，在故障抢修处理时，将故障参数设置为惩罚系数 10、核系数 0.1，判断参数是否存在异常。

2.2 功能设计

电能质量在线监测系统需要配备不同的功能模块，确保满足多元的故障抢修处理需求。其中为满足故障数据处理需求，可设置数据采集与分析功能模块，实时监测电能质量，如果发现存在质量问题，能够及时发出预警信息，提醒相关负责人及时解决，保障电能质量。而且数据采集功能还可以全面记录用电情况，汇总用电数据，自动生成统计报表呈现，主要包括对电网中电流、电压、负荷功率等参数的分析。系统中还可以设计远程参数处理功能，能够适当突破时间与空间的限制，在不同场所和时间段范围内，在线监测故障抢修全过程的电能质量，远程采集、分析、优化、修改故障参数[2]。例如，可远程预警电力设备的故障，并采集故障电力设备的核心运行参数，通知相关人员结合设备运行状态的实时监控结果，有效处理故障。

最后系统中可设置专家系统功能模块，主要由知识库和推理机构成，在分析电力故障问题前，预先建立数据库和事实性知识为主的知识库，之后在分析故障时，将数据库、知识库与故障建立连接，并制定相应的故障规则库，利用推理机制，判断导致故障产生的原因，最后根据判断结果，获取故障问题的最佳解决方案。

2.3 硬件设计

在系统中还需要优化设计硬件架构，可以将传感器设备作为主要硬件，负责感知故障，整体传感器网络主要覆盖三种不同的监测维度，其中环境监测时，可使用宽温型传感器，电能质量监测时可使用电压与电流传感器，能够按照 10kHz 的采样频率，精准分析与控制电力参数波动。对于高频故障点，可使用温度监测类型的传感器，如为减轻破坏，可使用非直接接触的红外传感器，采集相关故障数据信息后，将数据向系统的数据采集单元传输进行高效处理。

同时硬件可进行必要的环境适应性设计，例如，在高原环境中，可优化传感器的硬件电路，进行非线性补偿，补偿范围覆盖–40~85℃。传感器外壳厚度控制在 80~100μ，在长时间的充足光照条件下适用，连续照射 1000h 后，光泽度保持率仍然可以超过 90%。外壳的接缝处可使用硅橡胶密封圈，提高密封性能，并将压缩量控制在 25%~30%左右。此外，传感器设备的信号线路可选择双绞屏蔽结构，屏蔽层覆盖率≥90%，对于传感器的电源模块，可设置集成宽压输入电路，能够满足 85~265V 交流电的输入需求。对于高频故障点监测需求，可将传感器硬件的温度测量范围控制在–40~2000℃，测量精准度控制在 ± 1℃，确保充分适合高原环境中的极端气温变化。

3.故障抢修处理中电能质量在线监测系统的应用策略

3.1 优化抢修方案与流程

电能质量在线监测系统具有决策优化、数据与技术支持等功能，可用于优化故障的抢修方案，并细化抢修流程。例如，某电力公司的基础情况为在服务范围内分布有 167 个变电站，电压等级从 35 千伏至 500 千伏不等，整体变电能力达到 2577.53 万千伏安。并且具有 374 条 35 千伏及以上的输电线路，线路的整体长度达到 4979.2953 公里，还具有 1802 条 10（20）千伏的配电线路，整体长度达到 20099.15 公里，在电力设施方面，具有 39064 个配电变压器。现有的电力抢修方案和流程存在响应效率不高、与公司基础运营业务需求不匹配等问题。

利用电能质量在线监测系统优化时，利用系统自带的检测、实时控制、数据分析等功能优势，迅速发现故障，将故障与具体的电力设备、线路相对应。并确定电网故障类型，将故障严格分类，整体故障划分为三级，主要包括非电力故障、人为操作失误故障、低压故障、计量故障、高压故障、电力系统内部故障、电能质量故障等。分类后根据故障等级和特点，合理制定抢修方案，实现精准预计科学的故障抢修时间。最后在此基础上，细化通知抢修人员、现场勘察、故障修复、测试与验证、记录与反馈的抢修流程。例如，抢修结束后可以及时利用系统，测试和验证电力设备、电力系统的运行状态是否仍存在异常，检查电力供应是否恢复正常。

3.2 抢修设备与数据管理

电能质量监测系统可以在不同电力设备的抢修处理工作中应用，例如，可利用系统辅助抢修油浸式变压器设备的故障，分析变压器的不同技术参数，如表 1 所示。该变压器容量为 800kVA，在正常运行情况下总负荷达到 650kVA，能够预留出 23%左右的负荷余量，在负荷波动较大的情况下使用，并用于应对设备未来的扩容需求。在抢修时可利用电能质量在线监测系统，分析变压器的接线组别、电压等级等参数，确保和现有电网系统兼容，在故障修复后，能够无需调整参数和改造设备，将设备接口线路与电网系统直接连接，实现迅速安装使用[3]。

并且系统可结合设备的预算，辅助控制变压器的抢修成本。在整体成本效益方面，可投入 12 万元采购费用，使变压器的电力生产作业在 72h 内恢复，防止出现过大的经济损失。对于新投入使用的变压器设备，能够每年节约 3.84 万元左右费用、并节约 1.2 万元维修费用，合计变压器的年度故障抢修费用节约 5.04 万元。

故障抢修处理时会产生大量数据，可利用系统全面加强数据管理，制定数据驱动的应用策略。例如，在需要停电抢修时，可利用系统进行数据清洗处理，识别错误、缺失、价值不高的数据信息，规范调整格式，生成抢修作业的数据图表。

表 1　S11-M-800 型油浸式变压器技术参数表

参数名称	技术参数	用途
容量/kVA	800	预留扩容空间、满足运行负荷需求
接线组别	Dyn11	抑制谐波、兼容配电设备
电压等级/kV	10/0.4	匹配现有电网系统
空载损耗/kV	≤1.7	根据国际能效标准确定
短路阻抗/%	6	保障运行安全
环境温度/℃	-25~40	匹配运行环境

3.3 故障信息技术诊断

电能质量在线监测系统中，可引入不同的技术诊断故障，帮助故障抢修人员明确故障类型和原因。在诊断时可使用故障树技术，以定量、定性分析形式，确定故障事件，判断故障概率，如图 1 所示（来源于网络）。利用系统的专家系统和知识库等功能，可进行故障专家诊断。在系统智能决策的支持下，可使用深度学习、虚拟现实、神经网络等类型的技术诊断故障，以自然语言识别、自适应、动态控制、模糊识别等方式，全面识别不同的故障特征。

此外，系统可以在复杂电力故障的诊断中使用，实现电能质量控制、故障实时监测和故障诊断技术的深度融合。利用系统的高精度传感器与相关数据传输协议，能够通过环境感知、传输安全加密等方式，避免诊断复杂故障时出现过大误差。在复杂的三相故障中，可利用采用傅里叶变换技术，仔细分析谐波成分，之后使用对称分量法，精确诊断故障，避免三相系统中出现不平衡现象，防止增加故障的抢修难度。

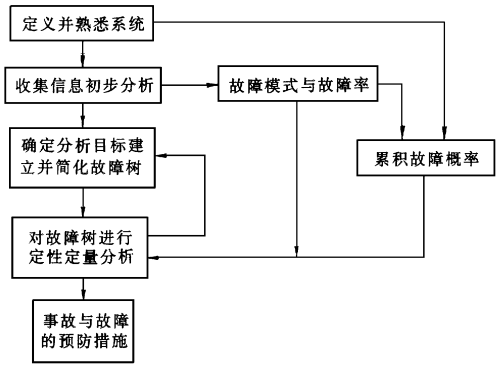


图 1　基于故障树的故障信息诊断示意图

3.4 配电故障可视化监测

配电网是电网的重要组成部分，抢修相关故障时，可利用电能质量在线监测系统的可视化呈现优势，进行可视化故障图像监控，识别配电线路和设备故障场景中可能造成潜在威胁的元素，精准确定安全隐患和故障点。之后以可视化的视频图像识别为主要依据，智能巡视故障，集中监控变电站运行参数、主要设备的异常运行信息，最后还可以利用系统一键操控，启动电力开关，确保故障抢修结束后，精准、迅速完成恢复供电操作。

同时在配电故障抢修中，系统的可视化监测可以在非入侵式电能监测和电缆通道在线监测等工作中应用。非入侵监测时，可以可视化呈现配电设备负荷接口位置的电流、电压、功率等信息，并呈现负荷内部不同用电设备的实时电能消耗比例和用电功率，之后进行负荷分解，避免负荷过于集中。电缆通道在线监测时，能够可视化呈现在不同电缆接头中分布的电缆运行状态，例如，可利用系统中的多种传感器，在电缆接头进行温度、气体、沉降、水位等通道环境参数的实时监测，识别局部放电等故障的具体位置。

结论：

综上所述，电能质量在线监测系统的应用效果，会直接影响不同电力故障的整体抢修处理效果。必须聚焦电能成本、用电安全性等方面系统的应用价值，从软硬件与功能等方面合理设计系统架构，并确保系统在抢修设备管理、故障信息诊断等故障抢修处理工作中获得有效应用，推动故障抢修工作顺利开展。

参考文献

[1]黄辉,王杰辉. 配电网电能质量监测与故障诊断技术的应用效果分析 [J]. 电子技术, 2025, 54 (12): 352-353.
[2]刘明阳,孙磊,董徐鑫. 配电网故障与在线监测技术应用策略的研究 [J]. 电世界, 2024, 65 (5): 17-20.
[3]汤泰青,孟令辉,田聪,等. 电能质量在线监测系统的设计与应用分析 [J]. 光源与照明, 2023, (7): 90-92.
作者简介：王岩松（1998.12），男，汉族，天津人，助理工程师职称，大学本科，研究方向为抢修与故障处理。