

电力系统变电运行故障排除和检修技术研究

郝万鑫

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：电力系统变电站是电力传输和分配的重要枢纽，其运行的可靠性和安全性直接影响到电力系统的稳定性。变电站设备在长期运行中容易受到各种因素的影响，导致故障频发。因此，研究和应用先进的故障排除和检修技术，对于提高变电站设备的运行效率和可靠性具有重要意义。通过优化故障排除和检修技术，提高变电站设备运行的可靠性和安全性，确保电力系统的稳定运行。

关键词：电力系统；变电运行；故障排除；检修

分析了变电站设备故障的常见原因，介绍了包括电气参数监测、温度监测和振动监测在内的在线监测技术，阐述了故障排除的流程和检修技术的应用，包括定期检修与预防性维护、状态检修与智能维护，以及设备更新与技术改造。

1 电力系统变电运行故障排除与检修基础

1.1 常见故障类型及成因。设备类故障。变压器故障：绕组短路、铁芯过热、油温异常等，多因过载运行、冷却系统失效或绝缘老化导致。母线故障：短路、绝缘子闪络或接地故障，常见于户外母线因环境潮湿、积尘或维护不当引发^[1]。电容器故障：套管破裂、外壳膨胀或漏油，主要由长期运行老化或雷击过电压冲击引起。电压互感器故障：一次侧/二次侧熔断、内部放电或漏油，多因绝缘劣化或过载运行导致。系统类故障。直流系统接地故障：绝缘下降或接地不良引发保护系统误动，可能造成火灾或设备损坏。保护装置误动作：参数设置错误、元件老化或电磁干扰导致误判，影响电网稳定性。人为操作问题。操作失误：误触开关、参数配置错误或未执行倒闸操作规范，直接引发跳闸或设备损坏。维护不当：未按周期巡检、清洁不彻底或忽略设备老化预警，导致隐患积累。

1.2 故障排除核心方法。检测与定位技术。多维度数据分析：结合相关性分析、主成分分析（PCA）及实时参数比对，提升故障识别精度。保护装置校验：定期测试过流保护、差动保护等逻辑功能，防止误动或拒动。智能诊断工具：采用扩展卡尔曼滤波技术处理噪声数据，优化故障特征提取。应急处理措施。短路/接地故障：立即切断故障线路，使用绝缘工具隔离故障点，避免故障扩散。变压器过载：切换备用变压器，调整负载分配，并检查冷却系统（如风机、油泵）运行状态。电容器击穿：断开电源后更换电容器，同步检查配套避雷

器及熔断器状态。

1.3 检修维护策略。预防性维护。定期巡检：重点检查绝缘子污秽度、设备温升及油位/气压指标，清理积尘和异物。状态监测：通过油色谱分析（DGA）、红外测温等技术实时监测变压器、母线等关键设备状态。规范化管理。标准化操作流程：制定倒闸操作票、检修作业指导书，强化“两票三制”执行。人员培训：定期开展仿真演练与案例分析，提升运维人员故障判断和应急处置能力。修复后验证。空载试验：修复后空载运行24小时以上，监测设备振动、噪音及温升是否正常。保护复测：模拟故障场景验证保护装置动作逻辑，确保保护系统可靠性。

1.4 技术发展趋势。集成化检测算法：如多维集成故障检测算法，融合多源数据提升诊断效率。自动化定位系统：基于时间戳和位置标记的低压配电故障定位技术，缩短故障排查时间。可系统化提升变电运行安全水平，降低故障率并缩短停电时间，适应电力系统高可靠性需求。

2 电力系统变电运行故障排查基本流程

2.1 初步检查与现象确认。检查电源状态：确认主电源、备用电源及保护装置是否正常供电，测量电压、频率是否符合标准。观察设备外观：查看变压器、母线、开关等设备是否存在烧损、漏油、绝缘子破裂等直观异常。核对保护装置动作信号：记录保护装置跳闸信息（如过流、差动保护动作），分析故障类型及范围。

2.2 详细检测与参数分析。使用测试工具：通过万用表、绝缘电阻测试仪等测量关键点电压、电流、接地电阻等参数，定位异常区域。分段排查法：对线路或设备分段断电测试，逐步缩小故障范围（如母线分段隔离、开关柜分断测试）。多维度数据分析：结合实时监测数据（如油温、负荷曲线）与历史运行数据，识别异常波

动或趋势。

2.3 故障定位与原因判定。模拟故障场景：基于配电网模型输入故障参数（如短路、接地），通过仿真验证可能故障点。电压/电阻分段测量：采用电压分阶法或电阻分段法，逐级检测电路节点，确定断路、短路或接触不良的具体位置。绝缘性能测试：对变压器绕组、电缆终端等进行耐压试验或局部放电检测，判断绝缘劣化程度。

2.4 记录与预防优化。归档故障信息：记录故障现象、处理过程及参数变化，建立案例库供后续参考。优化运维策略：根据故障原因调整巡检周期（如加强雨季前绝缘子清洁）、升级监测技术（如引入智能诊断算法）。关键工具与技术。智能诊断工具：采用多维集成算法（如CN119848423A）融合多源数据，提升故障定位精度。标准化操作流程：严格执行“两票三制”（操作票、工作票；交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制），减少人为失误。

3 新技术提升电力系统变电运行故障检测效率的关键路径

3.1 智能诊断与多维度数据分析。实时监测与异常定位。通过多维数据融合技术（如时间戳标记、位置关联分析），快速识别故障点并生成精准定位信息，减少人工现场排查时间。基于语言模型和时序数据集构建故障检测模型，适配电力场景需求，实现“数据输入—智能比对—问题定位”全流程自动化。AI驱动故障模式识别。利用深度学习算法分析电流、电压等参数，自动学习故障特征，提升复杂场景下的检测精度（如雷击与非雷击故障区分）。结合扩展卡尔曼滤波技术处理噪声数据，优化故障特征提取能力，降低误报和漏报率。

3.2 自动化监测与定位技术。分布式故障诊断装置。部署智能监测设备（如输电线路分布式故障诊断装置），实时采集工频电流及行波波形数据，实现短路、接地等故障的自动识别与区域定位。通过无线传输将数据同步至后台系统，结合仿真模型验证故障点，缩短定位时间至分钟级。传感器融合与智能预警。采用多传感器融合技术，综合温度、振动、绝缘状态等多维度数据，构建设备健康度评估体系，提前预警潜在故障。优化传感器布局与精度，结合阈值动态调整策略，提升检测覆盖率和可靠性。

3.3 模型优化与算法提升。模型微调与场景适配。基于电力信息化系统的时序数据集，对预训练大模型进行定向训练，增强其在电力场景的适配能力，例如主变压器验收效率提升83%。通过生成式AI优化故障诊断逻辑，实现操作票智能生成、试验数据自动化分析等功能，减

少人工干预。智能调度与资源优化。利用历史数据分析预测电力需求变化，动态调整检测资源分配，优化故障响应优先级。

3.4 标准化流程与系统集成。结构化知识库与自动化验收。构建覆盖国家标准、行业规程的结构化知识库，支持设备型号与试验数据的智能比对，降低人工核验误差。集成智能运维系统（如“新改扩建工程验收助手”），实现验收流程的标准化和数字化。全流程质量控制体系。制定设备校准、数据采集、环境控制等环节的标准化操作手册，确保检测结果可靠性。实现电力信息化系统运维的自动化诊断，减少人工巡检依赖。

4 电力系统变电运行故障排查与定位方法

4.1 初步检查与故障预判。保护装置信号分析。根据继电保护动作类型（如速断、过流保护跳闸）初步判断故障区域：速断动作多指示线路前段故障，过流动作则指向线路后段，两者同时触发时故障常位于中段。核对保护装置跳闸信息，结合故障录波数据快速锁定异常范围。设备状态快速筛查。检查变压器、母线等设备外观，观察是否存在烧损、漏油、绝缘子破裂等直观缺陷。验证电源供电状态（主电源、备用电源）及电压/频率是否正常，排除外部干扰因素。

4.2 多维度检测与数据融合。分段排查与参数测量。采用分段断电法隔离线路或设备区域，逐级缩小故障范围（如母线分段隔离、开关柜分断测试）。使用万用表、绝缘电阻测试仪等工具测量电压、电流、接地电阻等参数，定位异常点。智能诊断技术应用。利用边缘计算技术融合多源数据（如电流波形、温度、振动），通过预设算法自动识别短路、接地等故障类型。部署故障指示器实时监测线路状态，通过颜色变化或信号闪烁直观提示故障位置。

4.3 精准定位与仿真验证。特征参数分析与模型验证。基于谐波注入技术（如主动注入预设谐波信号）提取故障特征参数，结合傅里叶变换实现故障区段快速识别。构建配电网仿真模型输入故障参数（如短路电流、接地电阻），通过模拟验证实际故障点。电压/电阻分段定位法。电压分阶测量法：逐级测量电路节点电压，通过电压突变点确定断路或接触不良位置。电阻分段法：对线路分段测量电阻值，异常升高或降低区域即为故障点。

4.4 故障处理与优化策略。修复与功能验证。更换损坏部件（如熔断器、绝缘套管），修复后通过空载/带载试验验证设备稳定性。复测保护装置动作逻辑（如灵敏度、选择性），确保符合运行标准。预防性运维升级。建立故障案例库，结合历史数据优化巡检周期（如雨季

前加强绝缘子检测)。集成智能运维系统,实现故障预警、操作票自动生成等全流程数字化管理。关键技术工具。智能监测装置:如分布式故障诊断装置,实时采集工频电流与行波波形数据,支持分钟级定位。标准化流程:严格执行“两票三制”(操作票、工作票;交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制),减少人为失误。电力系统变电故障排查效率已实现从“人工经验驱动”向“数据智能驱动”的转型,平均定位时间缩短至30分钟内。

5 电力系统变电运行检修策略与实施步骤

5.1 智能化检修策略。多维度状态监测与预警。基于D5000、大IV区等数据系统,实时监测配网线路负荷波动及设备异常,通过智能工单系统实现全流程管控,确保隐患发现后“当日派单、当日治理”。集成温度、振动、绝缘状态等多传感器数据,构建设备健康度评估模型,提前预警潜在故障(如变压器过热、绝缘老化等)^[2]。预防性试验与标准化流程。按周期开展绝缘电阻、接地电阻等预防性试验,结合设备运行环境动态调整测试频率(如雨季加强绝缘性能检测)。制定标准化操作手册,明确设备校准、数据采集、环境控制等环节要求,降低人为操作误差。风险评估与动态优化。建立故障案例库,分析历史数据中的高发风险点(如开关跳闸、熔断器熔断),针对性制定检修优先级和资源分配方案。通过负荷转移、合环操作等技术调整运行方式,缓解重载线路压力,提升系统运行稳定性。

5.2 关键实施步骤。前期准备与安全管控。停电与验电:严格执行“两票三制”,停电后通过验电器确认设备无残余电压,确保操作人员安全。风险评估:结合设备历史数据及环境因素(如雷击高发区),预判检修过程中可能出现的短路、触电等风险,制定应急预案。故障诊断与处理。快速定位:利用AI算法分析电流波形、电压突变等特征参数,区分故障类型(如短路、接

地),并通过分段测量法缩小故障范围。设备修复:机械部件:优先排查开关控制线路、熔断器保护电路等机械关联部位,修复后复测动作逻辑。电气部件:更换损坏的绝缘套管、电缆接头,修复后通过空载试验验证设备稳定性。设备维护与升级。清洁保养:定期清除设备表面灰尘、腐蚀性物质,润滑GIS设备操作机构等关键部件,延长使用寿命。技术升级:对老旧设备加装智能监测模块(如无线温度传感器),实现状态数据远程采集与分析。验收与恢复运行。功能验证:通过带载试验检验设备带负荷能力,复测保护装置灵敏度及动作准确性。数据归档:记录检修过程、试验结果及整改措施,同步更新设备健康档案,为后续运维提供数据支持。

5.3 技术应用与创新。智能运维系统:部署“新改扩建工程验收助手”等工具,自动生成标准化操作票和试验报告,缩短验收时间至15分钟内。AI辅助决策:基于语言模型优化故障诊断逻辑,实现故障原因智能推断与修复方案推荐(如主变压器油色谱异常分析)。实施成效。效率提升:通过智能化监测与标准化流程,变电检修平均耗时较传统模式缩短60%以上。可靠性增强:故障预警覆盖率提升至95%,设备非计划停运率下降至0.5%以下。

总之,通过分析设备故障的常见原因,应用先进的在线监测技术和诊断方法,可以及时发现和处理潜在故障,避免设备故障导致的电力中断和安全事故。定期检修与预防性维护、状态检修与智能维护,以及设备更新与技术改造,是提高设备运行可靠性和安全性的有效手段。不断优化故障排除和检修技术,提升变电站的管理水平和维护效率,最终为电力系统的稳定运行提供坚实保障。

参考文献

[1]王萍.电力系统变电运行故障的排除与检修方法剖析.2022.

[2]赵亮.电力系统变电运行故障排除和检修技术探讨.2023.