

电力变电设备常见故障类型及快速处理策略探讨

丁 一¹ 杨 慧² 张 源³

- 1. 内蒙古电力（集团）有限责任公司乌兰察布供电分公司 内蒙古 乌兰察布 012000
- 2. 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
- 3. 内蒙古电力（集团）有限责任公司鄂尔多斯供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：本文深入分析了电力变电设备在电力系统中的关键作用及其常见故障类型。通过对变压器、断路器、互感器、隔离开关及避雷器等关键组件的故障机理进行剖析，提出了基于多源数据融合的智能诊断技术和快速处理策略。研究结果为提升变电设备故障处理的时效性、准确性和安全性提供有力支持，对保障电网稳定运行具有重要意义。

关键词：电力变电设备；常见故障；故障诊断；快速处理

引言：电力变电设备作为电力系统的核心枢纽，其运行状态直接关乎电网的安全与稳定。然而，在实际运维过程中，变电设备常因各种内外因素导致故障频发，给电网运行带来严峻挑战。现有研究虽已取得一定进展，但在故障快速诊断与处理方面仍存在诸多不足。因此，本文旨在通过深入分析变电设备常见故障类型及其机理，探索更为高效、智能的故障处理策略，以期为电力系统运维管理提供新的思路和方法。

1 电力系统的重要性和变电设备的基本功能

电力系统作为国民经济的“血管”，承担着能源转换与输送的重要职能，其稳定运行直接关系到工业生产、民生保障和社会稳定。在电力系统中，变电设备是连接发电侧与用电侧的关键节点，通过电压变换实现电能的高效传输，通过开关控制保障系统的安全运行，通过监测保护设备确保电力供应的可靠性。

变电设备的基本功能主要体现在三个方面：一是电压变换功能，通过变压器将发电机输出的低压电能转换为高压电能以减少输电损耗，再通过配电变压器将高压电能转换为用户所需的低压电能；二是电能分配功能，通过母线、断路器、隔离开关等设备实现电能的分路控制与调度，满足不同区域、不同用户的用电需求；三是安全保护功能，通过避雷器、互感器、继电保护装置等监测系统运行状态，在故障发生时快速切断故障回路，防止事故扩大。随着智能电网的发展，变电设备的功能进一步拓展，不仅需要具备传统的电能转换与控制能力，还需支持状态监测、数据传输和远程调控，成为电力系统数字化、智能化转型的重要载体。因此，保障变电设备的安全稳定运行，快速处理各类故障，对于维护电力系统的可靠性具有重要意义^[1]。

2 电力变电设备常见故障类型及机理分析

2.1 变压器类故障

变压器是变电系统的核心设备，其故障将直接影响电能传输的稳定性。常见故障主要包括绕组故障、铁芯故障、油质故障和冷却系统故障。绕组故障多由绝缘老化、机械振动或过电压引起。长期运行中，绕组绝缘因高温、湿度等环境因素逐渐老化，导致绝缘强度下降，易引发匝间短路或相间短路。当系统发生过电压时，绕组绝缘可能被击穿，形成永久性故障。此外，变压器运输或安装过程中的剧烈振动可能导致绕组变形，运行中因电磁力作用进一步加剧故障，表现为直流电阻异常、局部放电量增大；铁芯故障主要源于铁芯接地不良或硅钢片绝缘损坏。正常情况下，铁芯应单点接地以避免涡流损耗，若出现多点接地，将形成闭合回路并产生涡流，导致铁芯过热，严重时烧损铁芯。硅钢片间绝缘老化或损坏会使涡流损耗增大，铁芯温度升高，加速绝缘油老化；油质故障与绝缘油的理化性质变化密切相关，绝缘油在长期运行中会因氧化、受潮而劣化，表现为酸值升高、水分超标、击穿电压下降。油位异常也是常见问题，油位过低会导致绕组暴露于空气中，引发局部放电；油位过高则可能因温度升高导致溢油，增加火灾风险；冷却系统故障多由风扇、油泵损坏或散热器堵塞引起^[2]。冷却系统失效会导致变压器散热效率下降，顶层油温超过限值，加速绝缘老化，甚至触发温控保护动作，迫使变压器停运。

2.2 断路器类故障

断路器作为电力系统的“开关”，其故障主要集中在机械操作机构和灭弧系统。机械故障表现为分合闸拒动或动作迟缓，机理包括机构卡涩、弹簧疲劳、液压或

气动系统压力异常。长期运行中,操作机构的润滑脂老化、零部件磨损会导致卡涩;弹簧操作机构的弹簧因疲劳而弹力不足,无法完成分合闸动作;液压系统漏油或气动系统漏气会导致压力下降,无法驱动断路器动作;灭弧系统故障多由灭弧介质性能下降或触头磨损引起。SF₆断路器若发生气体泄漏,灭弧能力将显著降低,分闸时可能出现电弧重燃,引发短路故障。真空断路器的真空度下降会导致灭弧室绝缘性能恶化,表现为断口间击穿电压降低。触头长期分合闸操作会产生磨损或烧蚀,接触电阻增大,运行中发热严重,甚至引发触头熔焊。

2.3 互感器类故障

互感器分为电流互感器(CT)和电压互感器(PT),其故障主要涉及绝缘损坏和铁芯饱和。电流互感器常见故障为二次开路和绝缘击穿。二次开路时,一次绕组电流全部用于励磁,铁芯磁密急剧升高,产生高电压,危及设备和人员安全。绝缘击穿多由受潮、污秽或过电压引起,表现为局部放电电量增大、介损超标,严重时引发接地故障;电压互感器故障以铁磁谐振和绕组短路为主,系统电压波动时,PT铁芯易发生饱和,引发铁磁谐振,表现为二次电压异常升高,熔断器熔断。绕组短路多因绝缘老化或制造缺陷,导致一次或二次绕组短路,表现为油温升高、瓦斯保护动作。

2.4 隔离开关类故障

隔离开关的主要功能是隔离电路,其故障集中在触头和操作机构。触头故障源于接触不良,多由触头氧化、表面污秽或压力不足引起。接触不良会导致接触电阻增大,运行中发热严重,触头温度超过允许值,甚至引发触头烧损;操作机构故障表现为分合闸不到位,机理包括传动部件锈蚀、轴承卡涩或操作动力不足。户外隔离开关长期暴露在自然环境中,传动部件易受雨雪、灰尘侵蚀而锈蚀,导致操作阻力增大,无法实现可靠分合闸^[3]。

2.5 避雷器类故障

避雷器的作用是限制过电压,保护电气设备绝缘,其故障主要包括阀片老化和密封不良。氧化锌避雷器的阀片在长期运行中会因热老化或过电压冲击而性能劣化,表现为泄漏电流增大、工频参考电压下降,阀片老化会导致避雷器在正常运行电压下发热加剧,形成恶性循环,最终引发爆炸;密封不良会导致避雷器内部受潮,绝缘电阻下降,工频放电电压降低。潮湿环境中,水分通过密封面进入避雷器内部,使阀片表面发生电化学腐蚀,进一步恶化其性能。

3 电力变电设备故障快速诊断技术

3.1 基于多源数据的智能诊断方法

传统故障诊断依赖人工巡检和离线试验,存在时效性差、诊断精度低等问题。基于多源数据的智能诊断方法通过整合在线监测数据、保护动作信息、历史运维记录等多维度数据,实现故障的快速定位与类型识别。在线监测数据包括设备运行参数(如温度、压力、局部放电量)、绝缘特性(如介损、泄漏电流)和机械特性(如分合闸时间、速度)。通过安装在设备上的传感器实时采集这些数据,经边缘计算节点预处理后上传至云端平台。保护动作信息可提供故障发生的时间、位置和类型,如差动保护动作提示变压器内部故障,零序保护动作提示接地故障。历史运维记录包括设备检修时间、更换部件、试验数据等,为故障诊断提供历史参考;智能诊断算法通过机器学习模型(如神经网络、支持向量机)对多源数据进行分析,提取故障特征并与历史故障模式比对,实现故障类型的自动识别。例如,利用变压器油色谱数据的三比值法结合AI模型,可精准判断绕组过热、局部放电等故障类型;通过断路器机械特性曲线的变化趋势分析,可预测操作机构的潜在故障。

3.2 快速诊断工具包开发

快速诊断工具包是面向现场运维人员的便携式设备,集成了数据采集、分析和诊断功能,旨在实现故障的现场快速判断。工具包硬件包括红外热像仪、超声波检测仪、介损仪、局部放电检测仪等,可实时采集设备表面温度、超声波信号、绝缘参数等数据。软件系统内置故障诊断模型和标准数据库,通过对比实测数据与标准阈值,生成诊断报告,提示故障类型和可能原因。例如,红外热像仪可快速检测设备接头、触头的温度分布,判断是否存在过热故障;超声波检测仪可捕捉设备内部局部放电产生的超声波信号,定位放电位置;介损仪通过测量绝缘介质损耗角正切值,评估绝缘老化程度^[4]。工具包还支持数据无线传输,可将现场数据同步至后台系统,实现远程专家会诊,提高诊断准确性。

4 电力变电设备故障快速处理策略

4.1 分级响应机制

建立分级响应机制是提高故障处理效率的关键,根据故障影响范围、严重程度将故障分为四级:Ⅰ级故障(紧急故障):涉及主变、母线等核心设备,可能导致大面积停电或设备损坏,需立即启动应急预案,运维人员在30分钟内到达现场,4小时内完成故障隔离。Ⅱ级故障(严重故障):涉及线路断路器、互感器等设备,影响局部供电,需在1小时内到达现场,8小时内恢复供电。Ⅲ级故障(一般故障):如隔离开关接触不良、避雷器泄漏电流超标等,不影响设备正常运行,可纳入计

划检修,24小时内制定处理方案。Ⅳ级故障(轻微缺陷):如设备表面污秽、标识脱落等,可在日常巡检中处理,不影响设备运行。分级响应机制明确了不同级别故障的处理流程、责任部门和时间要求,通过资源的优化配置,确保紧急故障优先处理,提高整体处理效率。

4.2 典型故障快速处理方案

4.2.1 变压器绕组短路故障

当变压器发生绕组短路故障时,应立即停运设备,拉开两侧断路器和隔离开关,切断电源。通过油色谱分析、直流电阻测量和绕组变形试验确认故障位置和严重程度。若为匝间短路且故障点较小,可采用局部修复方式,清理故障点后重新绕制绕组;若为相间短路或严重变形,需整体更换绕组。处理完成后,进行绝缘油过滤、真空注油和整体密封试验,合格后方可投运。

4.2.2 断路器拒动故障

断路器拒动时,首先通过遥信、遥测数据判断故障类型。若为机械卡涩,可尝试手动操作或更换润滑脂;若为液压系统压力不足,检查是否存在泄漏,补充液压油并修复密封件;若为电机故障,更换电机并测试控制回路。处理后需进行分合闸操作试验,测量动作时间、速度等参数,确保符合标准。对于SF₆断路器,还需检测气体压力和纯度,必要时补充气体。

4.2.3 互感器绝缘击穿故障

互感器发生绝缘击穿时,应立即退出运行,隔离故障设备。对油浸式互感器,检查绝缘油质,若因受潮导致击穿,可进行真空干燥处理;若为绝缘老化,需更换绕组或整体更换设备。干式互感器绝缘击穿多需整体更换,更换前需测试新设备的绝缘电阻、介损等参数,确保符合要求。投运前应进行极性试验和变比试验,避免接线错误^[5]。

4.3 快速处理标准化流程

快速处理标准化流程包括故障上报、现场勘查、故障隔离、修复处理、试验验证和恢复供电六个环节,确保处理过程规范有序。故障上报环节要求运维人员发现

故障后立即通过调度系统上报,说明故障设备、现象和保护动作情况。现场勘查需携带快速诊断工具包,通过外观检查、参数测量初步判断故障类型,拍摄现场照片留存。故障隔离需严格执行“两票三制”,拉开相关开关、刀闸,设置安全围栏和警示标识,防止触电事故。修复处理根据故障类型采用相应方案,优先采用备件更换方式缩短处理时间。试验验证包括绝缘试验、机械特性试验等,确保设备性能达标。恢复供电前需检查保护装置和二次回路,确认无误后逐步合闸送电,监测设备运行状态。标准化流程的实施可减少人为因素导致的失误,提高故障处理的一致性和效率,同时为后续的故障分析和预防提供数据支持。

结束语

本文通过对电力变电设备常见故障及快速处理策略的深入研究,不仅揭示了各类故障的内在机理,还提出了针对性的处理方案。研究结果不仅提升了故障处理的时效性和准确性,还为运维人员提供了更为便捷、高效的故障排查与处理手段。展望未来,随着智能电网技术的不断发展,变电设备故障处理将更加依赖于大数据分析、人工智能等先进技术,以实现故障的智能化预测与预防。本文的研究为这一目标的实现奠定坚实基础,期待在未来研究中能够取得更多突破性进展。

参考文献

- [1]李金环,武雪玲.变电运行中GIS高压组合电器设备常见故障处理研究[J].仪器仪表用户,2025,32(5):107-108,111.
- [2]江俊顺.变电运行设备在日常运行维护中常见故障及对策[J].数码设计(上),2021,10(1):80-81.
- [3]包仰锋,张燕琴.变电站电压互感器常见故障维修分析[J].模型世界,2025(10):52-54.
- [4]高麒,崔玮辰,吕兴浩.电力变电二次系统中的故障诊断与智能分析[J].电力设备管理,2024(23):12-14.
- [5]赵洪海.电力系统中变电运行的安全管理与设备维护问题分析[J].中国设备工程,2021(24):60-61.