

高压电力计量系统CT短路故障检测分析

李梓宇

内蒙古电力(集团)有限责任公司电能计量分公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 高压电力计量系统中, 电流互感器(CT)短路故障会破坏计量准确性, 威胁电网安全。其故障分内部绕组短路与外部二次回路短路, 成因涉及设备质量、环境影响及操作维护不当, 可能导致计量错误、设备损毁甚至电网波动。通过电流分析法、绝缘电阻测试法和温度监测法可有效检测故障, 结合设备质量管控、智能运维及人员培训等预防措施, 能显著降低故障风险, 保障电力计量系统可靠运行与电网稳定。

关键词: 高压电力计量系统; CT短路; 故障检测

引言

高压电力计量系统是电力交易与电网调度的核心支撑, 电流互感器(CT)作为关键组件, 其短路故障易引发计量失准、设备损坏及电网事故。当前, CT短路故障的隐蔽性与危害性对检测技术提出高要求。本文先概述系统构成及CT作用, 再分析故障类型、成因与危害, 进而探讨电流分析、绝缘电阻测试、温度监测等检测方法, 最后提出预防措施, 为提升系统可靠性与电网安全运行提供技术参考。

1 高压电力计量系统概述

高压电力计量系统是电力系统中至关重要的组成部分, 它主要负责对高压电力网络中的电能进行精确测量、记录和监控。这一系统是电力交易公平公正的基石, 也是保障电网安全稳定运行、实现科学调度与高效管理的重要支撑。该系统通常由电流互感器(CT)、电压互感器(PT)、电能表、计量二次回路以及相关的通信和数据处理设备等构成。在高压电力计量过程中, 电流互感器(CT)扮演着关键角色。它运用电磁感应原理, 能将高压线路中动辄成百上千安培的大电流, 按精确的比例变换为几安培的小电流。这不仅让电能表等设备能在安全的环境下进行精准测量和计量, 更有效保障了测量人员和设备免受高压大电流的危害。电压互感器(PT)同样不可或缺, 它将高电压按比例转换为低电压, 与CT紧密配合, 为电能计量提供准确可靠的电压和电流信号。电能表则依据CT和PT输出的信号, 通过特定的算法精确计算出电能消耗量, 并及时将数据存储和传输出去。计量二次回路如同系统的信号传输主干道, 负责连接CT、PT与电能表等设备, 确保信号稳定、准确地传输, 避免出现信号中断或失真等问题。相关的通信和数据处理设备则进一步拓展了系统的功能, 实现了计量数据的远程传输、深度分析和高效管理, 为电力系统的

调度决策、电费计费以及运行维护提供了重要依据。高压电力计量系统的准确性、可靠性和安全性直接关系到电力企业的经济效益和电力系统的稳定运行。对该系统中可能出现的故障进行及时检测和处理具有重要意义, 其中CT短路故障是较为常见且危害较大的一种故障类型。

2 高压电力计量系统CT短路故障分析

2.1 CT短路故障的类型

2.1.1 内部短路故障

CT内部短路故障主要是指其内部绕组之间发生短路。在CT制造阶段, 若绕组绝缘材料性能差、绕制不规范, 绝缘层就易受损, 为故障埋下祸根。长期运行时, 绝缘材料不断老化, 一旦遭遇过电压、过电流冲击, 绝缘层便可能被击穿, 致使绕组短路。CT内部铁芯若出现松动、磨损等情况, 会使涡流增大、局部过热, 最终损坏绝缘。CT内部铁芯故障也可能引发内部短路, 例如铁芯松动、磨损等导致涡流增大, 局部过热, 进而损坏绝缘, 引发短路。

2.1.2 外部短路故障

外部短路故障主要发生在CT的二次回路中。二次回路肩负着连接CT与电能表等设备的关键职责, 回路内的连接端子、导线等部件, 在长期持续运行过程中, 频繁的机械振动易使它们出现松动, 而潮湿环境则会不断侵蚀, 造成腐蚀与自然老化, 最终引发接触不良。当大电流经过这些不良接触部位时, 瞬间就会产生电弧, 进而引发短路^[1]。若回路中混入杂质、水分, 绝缘性能会大幅降低。人为误操作也较为常见, 像检修时误将二次回路短接, 同样会造成外部短路。

2.2 CT短路故障的成因

2.2.1 设备质量问题

部分CT在生产过程中, 由于原材料质量不合格、生产工艺不达标等原因, 导致其绝缘性能不符合要求。在

出厂检验环节若未能严格把关,这类存在隐患的CT就可能流入市场。投入运行后,随着运行时间的推移,在电场、热场等多重因素作用下,绝缘材料容易加速老化、损坏,进而引发短路故障。CT的结构设计不合理,如散热性能差,使得运行中产生的热量无法及时散发,导致其温度过高,这也会加速绝缘老化,增加短路故障的发生概率。

2.2.2 运行环境影响

高压电力计量系统通常安装在户外或较为恶劣的环境中,CT时刻经受着温度、湿度、粉尘、腐蚀性气体等多重因素的挑战。高温环境下,绝缘材料分子结构被破坏,性能急剧衰减;低温时材料收缩变脆,易出现开裂状况。高湿度会使绝缘电阻大幅降低,同时加速金属部件的腐蚀进程。粉尘和腐蚀性气体不断附着堆积,侵蚀CT表面与内部,破坏绝缘层。在这些不利因素长期共同作用下,CT绝缘性能持续恶化,最终都可能导致CT出现短路故障。

2.2.3 维护和操作不当

在对高压电力计量系统进行维护时,如果维护人员操作不规范,如在拆装CT时因动作粗鲁不小心损坏了其绝缘层,或者在二次回路接线时疏忽大意出现错误,都可能瞬间打破系统原有的稳定,引发短路故障。定期维护工作若流于形式、不到位,无法及时敏锐察觉CT和二次回路中的潜在问题,像导线绝缘在岁月侵蚀下老化、连接端子因长期振动而松动等,这些隐患就会逐渐恶化,积小成大,最终不可避免地导致短路故障的发生^[2]。

2.3 CT短路故障的危害

CT发生短路故障后,会对高压电力计量系统和电力系统的运行造成多方面的危害。第一,CT短路会导致其输出电流异常增大,使计量二次回路中的电流超过正常范围,可能烧毁电能表等计量设备,造成计量数据错误,影响电费结算的准确性,给电力企业和用户带来经济损失。第二,CT短路会使一次侧电流大部分通过短路点流通,导致铁芯中的磁通急剧增加,产生大量的热量,可能使CT本身过热烧毁,甚至引发火灾等安全事故。第三,短路电流产生的巨大电动力可能损坏CT的内部结构,使其彻底报废。第四,CT短路故障还可能影响电力系统的稳定运行。短路电流会引起电网电压波动,干扰其他设备的正常工作,严重时可能导致保护装置误动作,造成线路跳闸,扩大停电范围,影响电力供应的可靠性。

3 高压电力计量系统 CT 短路故障检测方法

3.1 电流分析法

电流分析法基于CT正常运行时一次侧与二次侧电

流呈严格比例关系的特性,通过实时采集并对比分析两侧电流信号的幅值、相位及谐波成分,实现对短路故障的精准识别。在系统稳定运行状态下,CT二次侧电流应按额定变比跟随一次侧电流线性变化,当发生短路故障时,这一比例关系会被打破,二次侧电流会出现异常突增或畸变。借助高精度电流传感器同步捕捉一次侧大电流和二次侧小电流信号,经模数转换后送入数字信号处理器进行快速傅里叶变换,可提取电流信号的频谱特征,通过构建正常工况下的电流比例模型与实时监测数据进行动态比对,计算偏差系数。当偏差系数超过预设阈值时,结合相位差变化和高次谐波含量的骤增情况,能快速定位短路故障点。该方法的创新之处在于引入自适应滤波算法,有效剔除电网背景噪声和负载波动对电流信号的干扰,显著提升了在复杂工况下的故障检测灵敏度,尤其适用于间歇性短路故障的早期预警。

3.2 绝缘电阻测试法

绝缘电阻测试法通过测量CT绕组间及绕组与外壳之间的绝缘电阻值,判断绝缘性能劣化程度,进而排查潜在的短路故障隐患。采用专用高压兆欧表施加规定的直流测试电压,利用绝缘电阻随绝缘层完好度变化的特性,量化评估绝缘系统的耐受能力。正常情况下,CT绝缘电阻应保持在较高水平且稳定,当内部绕组绝缘层出现老化、受潮或局部破损时,绝缘电阻会显著下降,特别是在接近短路状态时,电阻值会急剧降低至临界值以下。为提升检测准确性,可采用极化指数测试法,通过测量1分钟和10分钟时的绝缘电阻比值,有效区分绝缘层表面受潮与内部绝缘老化两种不同情况,避免误判。该方法结合温度补偿技术,消除环境温度对绝缘电阻测量结果的影响,使测试数据在不同工况下具有可比性,为预判短路故障提供了可靠的绝缘性能指标。

3.3 温度监测法

温度监测法利用CT短路故障时伴随的局部过热现象,通过分布式光纤测温或红外热成像技术,实时监测CT本体及二次回路的温度场分布,实现故障的早期发现与定位^[3]。CT发生短路故障时,短路电流产生的焦耳热会使绕组温度迅速升高,且热量会通过热传导和热辐射传递至设备表面,形成特定的温度异常区域。采用预埋于绕组内部的光纤光栅传感器,可直接感知绕组温度的微小变化,其波长漂移量与温度变化呈线性关系,通过解调仪可将温度信号转化为精确的数字量。红外热像仪可非接触式捕捉CT外壳及二次回路连接点的温度场图像,通过热像图的颜色梯度差异识别温度异常点。将实时监测的温度数据与正常运行时的温度阈值模型进行比

对,结合温度变化速率和空间分布特征,能精准识别短路故障的位置和严重程度,该方法对潜伏性短路故障的预警效果尤为显著,可在绝缘层完全击穿前及时发出警报。

4 高压电力计量系统 CT 短路故障预防措施

4.1 严格把控设备质量

(1)在设备选型阶段,应建立基于全生命周期性能评估的筛选机制,优先选择采用纳米级绝缘材料和一体化浇筑工艺的CT产品,这类材料具有更优异的耐老化和抗电晕性能,能显著提升设备在长期高负荷运行下的稳定性,同时结合动态模拟试验验证其在极端电压、电流波动下的绝缘耐受能力,确保所选设备满足复杂电网环境的运行需求。(2)引入数字化制造过程追溯系统,对CT绕组绕制的张力控制、绝缘层包裹的均匀度等关键工艺参数进行实时采集与分析,通过三维建模技术还原铁芯装配的间隙误差,及时修正可能导致局部场强集中的结构缺陷,从源头消除因制造工艺偏差引发的潜在短路隐患。(3)实施设备进厂前的多维性能校验,除常规的变比误差和角差测试外,增加高频脉冲耐压试验和温度循环冲击测试,模拟设备在实际运行中可能遭遇的瞬态过电压和环境温度剧变,通过监测绝缘电阻的变化曲线评估其潜在寿命,确保只有通过全方位严苛检测的设备才能投入使用。

4.2 加强运行维护管理

(1)构建基于物联网的状态感知网络,在CT二次回路关键节点部署微型传感器,实时监测导线接头的接触电阻和绝缘层的介损因数,通过边缘计算模块对采集的参数进行趋势预判,当发现接触电阻异常增大或介损值超出阈值时,自动触发预警并推送至维护终端,实现故障隐患的早期干预。(2)采用气液双相介质循环维护技术,定期对CT内部绝缘间隙进行微正压气体置换,排出可能积聚的水分和腐蚀性微粒,同时通过超声波清洗工艺清除二次回路端子表面的氧化层,配合纳米涂层处理形成持久的防腐蚀屏障,减少因环境因素导致的回路性能劣化。(3)开发计量系统数字孪生体,将CT运行参数与电网负荷波动数据进行关联分析,模拟不同工况下的热场分布和应力变化,据此制定动态维护周期,在负荷高峰来临前提前完成易发热部位的散热优化,避免因过

载导致的绝缘加速老化。

4.3 提高人员操作水平

(1)搭建虚实结合的实操训练平台,利用虚拟现实技术还原CT二次回路接线的复杂场景,通过触觉反馈装置模拟不同紧固力矩下的端子连接状态,让操作人员在沉浸式训练中掌握避免导线绝缘层损伤的操作技巧,同时结合故障模拟系统练习短路故障应急处理的精准步骤,提升实战应对能力^[4]。(2)建立基于操作行为数据分析的技能评估体系,通过智能穿戴设备记录操作人员在拆装CT过程中的动作轨迹和力度变化,识别可能导致设备结构损伤的不规范操作模式,针对性设计矫正训练方案,重点强化对绕组引线脆弱部位的保护技巧,减少人为操作引发的故障风险。(3)引入跨专业技术融合培训模式,组织操作人员深入学习CT电磁耦合原理与二次回路信号传输特性,理解不同短路故障类型对应的电气特征变化,使其在日常维护中能通过细微的参数异常判断潜在问题,实现从被动处理到主动预防的转变,提升系统整体运维效能。

结语

综上所述,高压电力计量系统CT短路故障的有效管控需结合多维度技术手段与管理策略。通过明确故障类型与成因,运用电流分析、绝缘电阻测试及温度监测等方法可实现精准检测;严格设备质量、加强智能运维与提升人员技能能从源头预防故障。未来需进一步优化检测技术的实时性与智能化,推动故障处理从被动应对向主动预防转变,以适应电力系统发展,保障计量精准与电网稳定。

参考文献

- [1]张萍.高压电力计量系统故障分析与检测[J].汽车博览,2022(19):70-72.
- [2]王磊,王逸达.高压电力计量系统故障诊断技术的改进[J].善天下,2021(14):395-396.
- [3]李静,张敏.高压电力计量系统故障诊断与应用研究[J].汽车博览,2022(29):45-47.
- [4]丁全鑫.高压电力计量系统故障诊断技术的改进[J].大众用电,2022,37(8):58-59.