

220kV变压器故障分析及处理

仵少仙 李帅帅 魏家旭

摘要: 220kV变压器作为电力系统中不可或缺的关键设备,其运行状态的稳定性直接关系到整个电网的安全性与可靠性。本文旨在深入探讨220kV变压器在实际运行过程中常见的故障类型,重点分析了工频故障、温度故障以及人为故障三大类别的具体表现形式与内在成因。针对这些潜在的故障风险,论文系统性地提出了相应的处理措施,还详细阐述了当前应用于220kV变压器故障检测的先进技术,分析了这些技术的原理、应用方式及其在故障诊断中的实际效果。通过对故障的全面分析、有效处理措施的制定以及精准检测技术的应用,旨在为提升220kV变压器的运行维护水平、保障电网的长期稳定运行提供理论依据和实践参考。

关键词: 220kV变压器;故障分析;处理措施

一、220kV变压器故障类型

1. 工频故障

220kV变压器的工频故障主要源于其长期承受电网工频电压及可能出现的各种过电压现象,对变压器内部的绝缘系统构成持续威胁。这类故障的核心在于绝缘介质的电气强度在长期电应力作用下发生劣化或遭遇不可承受的瞬时高压冲击。在正常运行电压下,绝缘材料会因电老化过程而缓慢降解,其介电性能逐渐下降。然而,更为危险的是系统内部可能出现的操作过电压和外部侵入的雷电过电压,这些瞬态过电压幅值极高,上升沿陡峭,极易在变压器绕组间或绕组对地之间形成不均匀的电场分布,导致绝缘薄弱点发生局部放电甚至贯穿性击穿。绕组匝间绝缘由于承受的电位梯度最大,是此类故障的高发区域,轻微的匝间短路可能引发局部过热,而严重的匝间短路则会迅速发展为绕组对地短路或相间短路,产生巨大的短路电流和电动力,造成绕组变形、烧毁乃至变压器爆炸的灾难性后果。

2. 温度故障

温度故障是220kV变压器运行过程中另一类常见且

危害严重的故障类型,其本质是变压器内部热量的产生与散失失去平衡,导致局部或整体温度异常升高,超出设计允许范围。变压器在能量转换过程中不可避免地会产生损耗,主要包括绕组的铜损和铁芯的铁损,这些损耗最终以热能形式释放。当变压器负载电流过大,超出其额定容量时,绕组电阻损耗将按电流平方关系急剧增加,产生大量热量。如果冷却系统效能不足或冷却介质(绝缘油)循环不畅,热量无法被及时带走,就会在变压器内部积聚。绝缘材料,特别是绝缘纸和绝缘油,对温度极其敏感,长期过热会显著加速其热老化速率,导致纸纤维聚合度下降、机械强度丧失、绝缘油裂解产生特征气体,使其绝缘性能不可逆地劣化。局部过热点的危害尤为突出,它可能由绕组导体接触不良、引线连接处焊接缺陷、漏磁通引起的结构件涡流损耗过大等原因造成,这些热点不仅直接破坏邻近的绝缘材料,还可能促使绝缘油分解,产生可燃性气体,在极端情况下甚至引发火灾。

3. 人为故障

在220kV变压器运行过程中,人为破坏也是一项非常重要的威胁。人为故障是指由于设计、安装、调试、运行操作或维护检修等环节中,因人员技术能力不足、操作不规范、责任心缺失或管理流程存在漏洞而直接或间接引发的变压器故障。这类故障具有相当的偶然性和可避免性,但其造成的后果往往十分严重。在变压器安装阶段,若未严格按照规程进行吊装、就位和连接,可能导致变压器内部结构遭受机械损伤。真空注油工艺执行不彻底,会使绝缘油中残留气泡,严重降低其绝缘强度。在运行操作方面,带负荷误拉隔离开关、错误的并

作者简介:

1. 仵少仙(1986.03——),女,汉族,陕西渭南人,本科,高级工程师,研究方向:变电设备高压试验及故障诊断。
2. 李帅帅(1999.12——),男,汉族,本科,助理工程师,研究方向:在线监测及带电检测装置检修与运维。
3. 魏家旭(1998.09——),男,汉族,本科,助理工程师,研究方向:变压器。

列操作产生环流、保护定值设置不当或误动/拒动，都可能对变压器造成电流或电压冲击。检修过程中，若工作人员技能不达标或工作马虎，可能在变压器内部遗留工具、杂物，或者紧固件未拧紧导致接触电阻增大引发过热。继电保护人员的误接线、误整定，则可能使变压器在故障时失去应有的保护。

二、220kV 变压器故障的处理措施

1. 建立健全变压器运行管理制度

构建一套科学、严谨、全面的变压器运行管理制度是确保 220kV 变压器安全稳定运行的基石。该制度体系应覆盖从设备投运前的技术验收、运行中的状态监控、操作规范、到停运检修的全过程管理。制度需明确各级人员岗位职责，确立清晰的权限划分和责任追溯机制，确保每一项与变压器相关的工作都有章可循、有人负责。运行规程应详细规定变压器的正常启动、停运、负荷调整等标准操作步骤，严禁任何形式的违规操作。建立完善的设备技术档案管理制度，系统收录变压器的出厂试验报告、安装记录、历次检修报告等，为设备状态评估和寿命预测提供完整的数据支持。制定严格的巡检与维护周期表，明确巡检项目、标准和方法。建立针对变压器各类异常工况和突发故障的应急预案，预案内容应包括故障现象的初步判断、隔离措施以及恢复供电方案，并定期组织演练，提升人员的应急响应能力。

2. 做好故障预防工作

故障预防是 220kV 变压器安全管理的核心策略，其目标是在故障发生前识别并消除潜在隐患。预防工作始于变压器的选型与设计阶段，应优先选择技术成熟、结构可靠、具有良好运行业绩的产品，确保其设计能够承受预期的各种电气、热和机械应力。在安装与交接验收阶段，必须严格执行国家标准和厂家技术规范，确保安装质量，所有交接试验项目必须合格，为设备投运奠定良好基础。运行中的预防重点在于对变压器运行工况的精细化控制，避免长期过负荷运行，密切监控系统电压和频率在允许范围内，减少短路故障发生的概率。加强绝缘油的管理是预防工作的关键一环，包括定期取样进行色谱分析、微水含量测定、耐压试验和介质损耗因数测量，根据油质变化趋势及时进行油处理或更换，保持绝缘油的优良性能。利用在线监测装置对变压器油中溶解气体、局部放电、顶层油温、负荷电流等进行实时监控，通过数据分析早期发现故障苗头。定期开展预防性试验，如绕组直流电阻、绝缘电阻、吸收比、极化指数、绕组变形测试等，通过与历史数据和标准值的比对，评

估绝缘状态的演变趋势。

3. 强化日常巡检工作

日常巡检是运行人员直接感知 220kV 变压器运行状态、发现外部异常的最基本也是最有效的手段。巡检工作必须制度化、规范化，制定详细的巡检路线、项目和标准。巡检内容应涵盖 220kV 变压器的外观检查，观察箱体、储油柜、套管、散热器等部位有无渗漏油现象，油位指示是否在正常范围内。通过听音棒或超声波检测仪监听 220kV 变压器本体运行声音是否均匀，有无异常的噼啪声或撞击声，判断内部有无放电或机械松动。利用红外热像仪对变压器各连接部位、套管接线端子、冷却系统管路阀门等进行测温，及时发现因接触电阻增大导致的过热点。检查呼吸器的硅胶颜色变化，判断吸湿效果，油封是否完好。观察压力释放装置有无动作迹象，气体继电器内是否积聚气体。记录控制盘上的温度表、负载电流表等指示数据，并与历史记录和同期数据进行比较分析。巡检过程中还应关注变压器周围环境，清除可能影响散热的杂物，检查消防设施是否完备。

4. 加强设备的定期检修

定期检修是根据 220kV 变压器运行周期和状态评估结果，有计划地对其进行解体检查、维护、试验和部件更换，旨在恢复设备性能，消除已存在的缺陷和潜在故障。检修计划应基于变压器的运行年限、负载历史、故障记录、在线监测数据以及预防性试验结果综合制定，实现从定期检修向状态检修的逐步过渡。小修项目通常包括对外部组件的检查维护，如清扫套管、检查并紧固所有外部连接件等。大修则涉及吊罩或进入变压器油箱内部，进行更为彻底的检查和维修，检修过程中必须严格控制环境湿度，采取可靠的防潮措施。所有拆卸的部件应做好标记，复装时确保准确就位。检修完成后，必须按照规程进行全面的交接试验，确保各项性能指标合格后方可重新投入运行。

5. 加强对工作人员的监管工作

人员是 220kV 变压器运行维护工作的执行主体，其专业技能、责任意识和操作的规范性直接关系到设备的安全。加强对工作人员的监管与培养至关重要。建立严格的岗位资格认证制度，运行、检修及试验人员需经过系统的专业理论培训和实际操作技能考核，持证上岗。定期组织技术培训，不断提升人员的业务水平。强化安全教育和责任意识教育，使员工深刻认识到自身工作对电网安全的重要性，自觉遵守各项规章制度。在现场操作和检修作业中，严格执行工作票、操作票制度，实施

有效的安全隔离措施和现场监护制度，杜绝无票作业和违章作业。建立合理的绩效考核与奖惩机制，将设备健康状况、缺陷发现与处理及时率、操作正确率等指标与个人绩效挂钩，激励员工主动发现问题、解决问题。营造积极的安全文化氛围，鼓励员工之间的经验交流和安全监督，形成团队协作、共保安全的工作环境。

三、220kV 变压器故障检测技术

1. 气体分析技术

气体分析技术是诊断220kV 变压器内部潜伏性故障的一种极为有效且广泛应用的方法，其物理基础在于变压器内部不同类型的故障会引致绝缘油和固体绝缘材料发生分解，产生特定种类和含量的特征气体。当变压器内部存在局部过热、放电等异常能量效应时，绝缘油分子在电、热应力作用下发生裂解，生成氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等低分子烃类气体以及一氧化碳、二氧化碳等碳氧化物。故障类型与产生气体组分之间存在明确的对应关系。气体分析技术主要通过采集变压器油样，在实验室利用气相色谱仪进行精确的定性和定量分析。通过对油中溶解气体的组分、含量、产气速率以及特征气体比值的综合研判，可以较为准确地判断故障的性质是热性还是电性、故障的大致温度范围、可能涉及的部件以及故障的严重程度和发展趋势。

2. 热敏元件检测技术

热敏元件检测技术是直接或间接监测220kV 变压器运行温度，预防温度故障的直接手段。该技术利用对温度敏感的原件或传感器来感知变压器关键部位的温度变化。最传统和普遍的是安装在变压器顶部的油温表，用于监测顶层油温，间接反映变压器的综合热状态。更为先进和精确的是光纤测温技术，通过预埋在变压器绕组附近的分布式光纤传感器，可以直接测量绕组的实时温度，甚至定位最热点温度，这对评估绝缘热寿命和防止绝缘过热损坏至关重要。另一种常用的热敏元件是热电阻，通常嵌入绕组内部，用于直接测量热点温度。红外热成像技术作为一种非接触式测温方法，在巡检中被广泛用于检测变压器外部各连接部位、套管、冷却系统管路的温度分布，能够快速发现因接触不良导致的局部过热缺陷。这些热敏元件将温度信号转换为电信号或光信号，传输至主控室的监测系统进行实时显示、记录和报警。

3. 直流电阻测试技术

直流电阻测试技术是一种用于检测220kV 变压器绕组及其导电回路连接状态的基本电气试验方法。其原理

是通过在被测绕组上施加一个稳定的直流电流，精确测量该电流在绕组两端产生的电压降，然后根据欧姆定律计算出绕组的直流电阻值。这项测试主要目的在于检查绕组导体的完整性、焊接质量、分接开关各档位触头的接触状况以及引线与套管的连接是否良好。变压器在制造、运输、安装或运行过程中，可能因机械力、电力或过热导致绕组导体断裂、虚焊，或者分接开关触头接触压力不足、表面氧化、烧蚀，这些缺陷都会引起回路电阻的异常增大。通过测量各相绕组的直流电阻，并相互进行比较，其不平衡率应符合标准要求。接触电阻增大会导致局部过热，加速绝缘老化，甚至在通过大电流时引发严重事故。直流电阻测试通常在变压器投运前、分接开关变换后、定期检修时以及怀疑存在导电回路故障时进行。

结束语

220kV 变压器的安全稳定运行对保障整个电力系统的可靠性具有决定性意义。本文系统性地分析了220kV 变压器在运行过程中可能遭遇的主要故障类型，深入剖析了其内在的成因与表现形式，从管理和技术两个层面提出了一系列综合性的处理措施，涵盖了运行管理制度的完善、预防性工作的深化、日常巡检的强化、定期检修的执行以及对工作人员的有效监管，构建了一个多层次、全方位的故障防御体系。未来，随着智能传感技术、大数据分析和人工智能算法的不断发展，变压器状态监测与故障诊断将朝着更加智能化、精准化和自动化的方向演进，从而进一步提升220kV 变压器的运行可靠性，为构建坚强智能电网提供更为坚实的设备基础。持续深化该领域的研究与实践，对于推动电力行业的技术进步和保障国家能源安全具有长远的战略意义。

参考文献

- [1] 覃森昌. 220kV 变压器故障分析及处理[J]. 世界有色金属, 2025, (12): 223-225.
- [2] 张国云. 探讨220kV 变压器的内部故障分析及处理[J]. 中国设备工程, 2023, (14): 153-155.
- [3] 董万光, 侯宪法, 董亚. 一起220kV 变压器故障分析及处理[J]. 电力安全技术, 2013, 15(10): 30-32.
- [4] 徐龙. 220kV 变压器内部故障分析和处理[J]. 科技传播, 2013, 5(14): 137+136.
- [5] 钟立新, 潘炜. 220kV 变压器色谱异常故障分析及处理[J]. 湖南电力, 2011, 31(03): 38-39.