继电保护技术在变压器故障解决中的应用研究

朱春烽
正泰高压电气设备（武汉）有限公司，湖北 武汉 430403
DOI: 10.61369/TACS.2026090023

摘　　要： 本文聚焦继电保护技术在变压器故障处置中的应用路径展开系统性梳理，从电气量主保护、非电气量辅助保护、层级化后备保护、全生命周期协同保护四个维度，厘清不同技术路径的功能定位与协同逻辑，分析各类应用模式在变压器故障识别、隔离与全周期防护中的核心作用。研究旨在进一步明确继电保护技术与变压器安全防护的融合方向，为提升电力系统核心设备的运行可靠性提供理论参考。

关 键 词： 继电保护技术；变压器；故障解决

Research on the Application of Relay Protection Technology in Transformer Fault Handling

Zhu Chunfeng
Chint High Voltage Electrical Equipment (Wuhan) Co., LTD., Wuhan, Hubei 430403

Abstract: This paper systematically sorts out the application paths of relay protection technology in transformer fault handling. From four dimensions including electrical quantity main protection, non-electrical quantity auxiliary protection, hierarchical backup protection and full-life-cycle collaborative protection, it clarifies the functional positioning and collaborative logic of different technical schemes, and analyzes the core roles of various application modes in transformer fault identification, isolation and full-cycle protection. The research aims to further define the integration direction of relay protection technology and transformer safety protection, and provide theoretical references for improving the operation reliability of core equipment in power systems.

Keywords: relay protection technology; transformer; fault handling

引言

现代电力系统的架构中，变压器要完成能量传输与电压变换，它运行状态是否稳定，直接关系整个电网的供电安全与运行秩序。电网覆盖规模还在扩大，运行工况越来越复杂，变压器面对的运行环境更多样，各类可能诱发故障的因素一直在增加，传统处理故障的方法已经没法满足新型电力系统的安全防护需求。继电保护技术长期更新发展后，已经可以从多个维度识别和处置故障，把它用在变压器故障处理当中，可以解决核心设备安全防护的现有难题。本文整理继电保护技术在处理变压器故障时的具体应用，理清不同技术路径的功能范围与配合方式，方便后续相关技术落地和优化。

一、继电保护技术的概述

继电保护技术归在电力系统安全防护体系里，是支撑电网稳定运行的基础自动化技术。这项技术的运行逻辑，是一直采集电力系统运行时的各类主要电气参数，随时判断系统的运行状态，分出正常运行工况与异常故障工况。电力系统出现会威胁设备安全和运行稳定的异常状况时，这项技术会自动启动对应控制动作，把故障影响压缩到最小范围，不让异常在电网里扩散，保障电力系统整体安全运行[1]。

继电保护技术运行时，需要先区分电力系统故障前后的电气特征差异，再捕捉运行过程中各类电气量的异常变化特征，最终完成对故障状态的精准判定[2]。这项技术经过长期发展，已经定下统一的核心设计准则，所有相关装置的研发和配置都按照这套准则推进，在不同的电网运行场景下，都能对故障状态给出准确响应，不会在系统正常运行时，错误触发不必要的控制动作，也不会在故障发生时，出现响应滞后的情况，一直以高敏感度监测电力系统的运行状态。

继电保护技术覆盖电力系统发电，输电，配电以及用电全环节的安全防护，满足所有核心电力设备的防护需要，支撑现代电力系统做大和升级。电力系统整体架构变化后，继电保护技术也跟着更新升级，融合新一代信息处理和通信技术，方向偏向更灵活，更智能，能更好适配复杂电网的运行状态，让新型电力系统运行更安全稳定，能在电力安全领域得到更广泛的应用[3]。

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

二、继电保护技术在变压器故障解决中应用的意义

继电保护技术在变压器故障解决中的深度应用，是筑牢现代电力系统核心设备安全防线的关键支撑。该技术打破了传统变压器故障处置依赖人工巡检、事后抢修的被动局限，通过多维度的状态感知与逻辑判别，大幅提升了内部隐蔽故障的识别效率，避免故障在核心部件内部持续扩散造成不可逆损伤[4]。其构建的多层级协同防护体系，既保障了故障处置的响应速度，又通过冗余设计消除了保护盲区，尽可能缩小故障发生后的停电波及范围，维持电网非故障区域的供电稳定。同时，该技术推动变压器运维模式向全周期主动防护转型，为新型电力系统下核心设备的安全可靠运行提供了坚实的技术保障。

三、变压器故障类型与分析

（一）变压器常见故障类型

变压器在电力系统中承担电能传输与变换的功能，它的故障可按发生空间分成内部故障与外部故障两个类别。内部故障集中在油箱封闭空间里，关联绕组、铁芯和分接开关等核心部件，大多呈现出绝缘性能劣化、内部放电和结构形变等异常状态，这类故障隐蔽性较强，初期很难通过外部观测直接识别，持续发展后容易对变压器本体造成不可逆的损伤。外部故障发生在油箱外侧的外露部件上，包含套管、冷却装置和外部接线等结构，大多表现为外绝缘闪络、散热功能失效和外部连接松动等问题，这类故障外部特征相对明显，可以通过常规巡检及时发现[5]。变压器运行中还会出现诸多未达到故障等级的异常工况，这类状态虽未直接触发故障，却会持续加速设备性能衰减，逐步发展成实质性故障。

（二）故障原因与机理分析

变压器故障由多种因素长期共同作用形成，故障诱因可以归为四类，分别是绝缘性能劣化，机械结构损伤，热效应累积和外部环境侵蚀。绝缘性能劣化是多数内部故障的起始源头，变压器长期运行过程中，绝缘材料持续承受电场，应力和环境因素的叠加作用，性能会逐步衰减，最终引发绝缘失效，再衍生出放电，短路等故障[6]。机械结构损伤多由外部冲击或内部应力失衡引发，会破坏原本稳定的内部结构布局，加重绝缘系统的受力负担，让故障发展形成恶性循环。热效应累积来自散热通道受阻或内部异常损耗，持续的局部过热会大幅加快绝缘材料的老化速度，推动各类故障发展。外部环境的侵蚀会逐步破坏外露部件的防护性能，引发外绝缘失效，部件锈蚀等问题，最终诱发各类外部故障。各类故障的演化并非独立发生，不同故障机理之间往往存在互相促进的关联，一起推动设备状态从正常运行逐步转向异常失效。

四、继电保护技术在变压器故障解决中的应用

（一）基于电气量特征识别的主保护应用

继电保护技术依靠动态采集变压器运行全周期的核心电气量，同时完成逻辑判别，搭建起针对内部核心故障的第一道主防护体系。这类应用的核心逻辑，是深挖变压器正常运行与故障状态下，电气量的本质差异，对不同空间位置采集到的同源电气信息做多维度交叉比对，精准区分设备保护区内故障，与区外正常扰动，直接在底层逻辑上避开把外部工况波动误判为内部故障的可能。这类保护机制只关注变压器本体的核心运行状态，对油箱内部的各类隐蔽性故障识别敏感度很高，能在故障还没发展出明显外部特征的萌芽阶段完成状态判定，不需要等待故障扩散到常规监测可以捕捉的程度，大幅压缩故障持续作用的窗口，防止故障在变压器内部向周边核心部件蔓延，从源头降低故障给绕组和铁芯等关键结构带来的不可逆损伤，如图1所示[7]。这类应用在配置上遵循独立运行的设计规则，不需要依赖其他辅助系统的外部信息做支撑，只靠自身采集的电气量就能完成完整的故障判别与动作输出，保障各类极端复杂的电网运行场景中，都能维持稳定可靠的响应能力，不会因为外部辅助系统出现异常就失去核心保护功能。

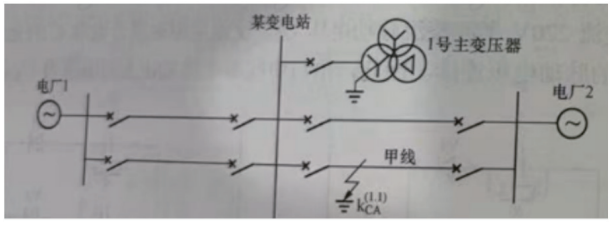


图1 1号主变压器电气量主保护

（二）基于非电气量特征感知的辅助保护应用

继电保护技术体系里，针对变压器油箱内部的特殊隐性故障，研究出依托非电气量特征感知的差异化辅助保护方法。这类应用打破传统单一电气量监测的功能局限，转而捕捉变压器内部故障发生时同步产生的各类非电物理特征，持续跟踪并深入分析这些特征的变化趋势和演化速率，完成对特殊类型内部故障的精准识别。这类保护机制可以更早识别轻微的潜伏性内部故障，这类故障通常不会引发明显的电气量突变，常规电气量保护很难捕捉到微弱的异常信号，这类保护能通过非电气特征的细微变化提前发现故障，补上了主保护在这类特殊场景下的识别盲区[8]。该类应用与电气量主保护形成功能互补的协同关系，二者分别从电气运行状态和物理演化特征两个完全独立的维度，全程监测变压器内部状态，完善了故障识别的维度，避免单一监测维度留下感知漏洞，让变压器内部的各类隐蔽故障都能被及时发现，搭建出多维度协同的内部故障感知网络。

（三）面向异常运行工况的层级化后备保护应用

继电保护技术处理变压器各类非正常运行工况，构建起覆盖全场景与全链路的层级化后备保护应用体系。这类应用定位是主保护的冗余补充防线，当主保护遇到极端工况与元件异常这类特殊原因，没能及时响应故障，后备保护可以按照预设的阶梯式逻辑规则完成后续故障处置，彻底消除保护拒动带来的安全盲区，如图2所示。这类保护机制的覆盖范围包含变压器本体的全量结构，自然延伸至和变压器相连的周边相邻电力设备，当相邻设备发生故障且自身保护没能正常动作，变压器侧的后备保护可以按照电网预设的层级配合逻辑完成故障隔离，防止故障影响向更大范围的电网扩散。该类应用在设计上充分考虑了不同运行场景下

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

的动作选择性要求，通过阶梯化的动作时限与逻辑配合，尽可能缩小故障发生后的停电波及范围，保障非故障区域维持正常供电秩序，在主保护之外构建起第二道可靠的纵深安全防线，全面提升变压器故障处置的冗余度与整体可靠性[9]。

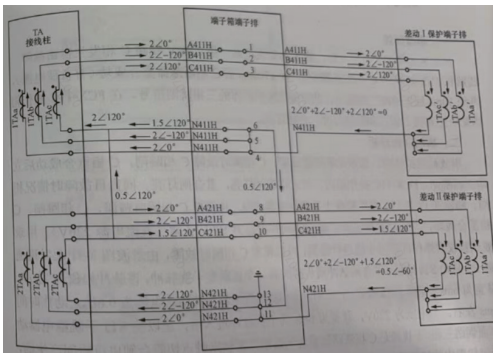


图2 主变压器层级化后备保护

（四）面向全生命周期的状态协同保护应用

现代电力系统推进智能运维转型，继电保护技术发展出覆盖变压器全生命周期的状态协同保护应用模式。这类应用不局限于故障发生后的被动响应，已经转向事前主动预警的方向延伸。技术人员可以依托长期积累的变压器全周期运行状态数据，搭建设备状态的动态演化模型，提前预判还没有显现的潜在故障风险。该类应用可以结合变压器的实时运行健康状态，动态调整保护的响应逻辑与适配策略，让保护机制匹配设备当前的性能状态，避免设备绝缘老化，结构性能出现阶段性变化时，原有固定的保护逻辑出现适配性下降的问题。这类应用还能和变压器的全流程运维体系融合，保护装置采集到的长期运行特征数据，会同步反馈至运维管理环节，给运维人员制定针对性的检修计划提供参考，推动变压器的故障处置脱离传统的事后抢修模式，逐步转向事前预判的主动防护模式，提升变压器全生命周期的运行安全水平与运维效率[10]。

五、结束语

继电保护技术与变压器故障防护体系的深度融合，是现代电力系统安全稳定运行的核心支撑之一。从传统的被动故障隔离，到如今覆盖全生命周期的主动状态防护，继电保护技术的应用边界持续拓展，为变压器构建起多维度、多层次的安全防护网络。随着新型电力系统的持续演进，继电保护技术还将进一步向智能化、协同化方向升级，不断适配变压器日益复杂的运行场景需求，持续强化核心设备的故障抵御能力，为整个电网的安全可靠运行筑牢坚实的技术基础。

参考文献

[1] 夏金蝉 . 电弧故障对变压器继电保护的影响与防护措施 [J]. 电力设备管理 ,2025,(24):2-4.

[2] 韩琪 , 窦佳伟 , 张冬 , 等 . 智能继电保护策略在变压器异常检测中的应用探讨 [J]. 电子元器件与信息技术 ,2025,9(9):73-75.

[3] 周明涛 . 水轮发电机变压器保护技术及继电保护方式分析 [J]. 电力设备管理 ,2025,(17):272-274.

[4] 韩雪 . 高压变频移相变压器继电保护技术及配置方案研究 [J]. 电工技术 ,2025,(17):191-193.

[5] 薛凯 . 智能电网环境下继电保护技术在变压器故障预防中的作用研究 [J]. 科技创新与生产力 ,2025,46(8):49-52.

[6] 孙立军 . 变压器35 kV 侧增加零序保护闭锁快切利弊分析 [J]. 天津化工 ,2025,39(S1):37-41.

[7] 王明霞 , 贺得珺 . 基于线路故障的变压器间隙保护动作分析与防范措施 [J]. 电工技术 ,2025,(S1):340-342.

[8] 邓祥力 , 吴诗华 , 童志祥 , 等 . 基于漏磁场幅值差动的非规则绕组变压器早期故障保护研究 [J]. 中国电机工程学报 ,2025,45(11):4269-4282.

[9] 朱洪根 . 基于正负序电流轨迹速率的变压器励磁涌流识别研究 [D]. 广西大学 ,2025.

[10] 容建华 . 基于继电保护定值的风电场跳闸故障分析及优化措施 [J]. 通讯世界 ,2025,32(5):118-120.

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License