

建筑电气中配电变压器的继电保护途径

索海龙

乌海市海勃湾城市供水有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘要：建筑电气中，配电变压器继电保护至关重要。本文介绍了变压器内部故障的瓦斯、纵联差动、电流速断保护；外部故障的过电流、复合电压启动的过电流、零序电流保护；异常运行状态的过负荷、温度、油面保护。还阐述了继电保护装置的配置与协同策略，包括主后备保护配合、时限特性分级协调、多级保护系统整合，为保障变压器安全稳定运行提供全面方案。

关键词：配电变压器；继电保护；瓦斯保护；纵联差动保护；时限特性

引言

在建筑电气系统里，配电变压器是核心设备，其安全稳定运行关乎整个系统供电质量。一旦变压器出现故障或异常运行，不仅会损坏设备，还可能引发大面积停电，造成严重经济损失。继电保护作为保障变压器安全的关键技术，能快速、准确地检测并切除故障，防止故障扩大。深入探究配电变压器继电保护途径，合理配置保护装置，对提升建筑电气系统可靠性、保障用电安全意义重大。

1 变压器内部故障的继电保护途径

1.1 瓦斯保护

瓦斯保护是油浸式变压器特有的保护机制，通过气体继电器实现故障识别。依托油浸设备油纸绝缘的物理特性运作，能精准捕捉绝缘劣化初期的气体信号，在故障萌芽阶段发出预警，为运维人员排查隐患预留充足时间，且无需依赖外部电源即可稳定动作^[1]。当变压器内部发生匝间短路或铁芯局部过热时，绝缘材料分解产生的气体在油箱内积聚，导致油面缓慢下降。气体继电器内浮子随油面降低触发轻瓦斯动作，向运维系统发送报警信号，提示设备存在潜在隐患。若故障发展为相间短路或绝缘击穿，剧烈电弧产生大量气体形成冲击油流，推动气体继电器挡板快速动作，直接启动跳闸回路切断电源。这种保护方式无需外部电源支持，动作可靠性高，尤其适用于检测油纸绝缘系统的局部故障，但需每2年定期校验气体继电器动作值以确保灵敏度，避免因气体滞留导致误报或拒动。

1.2 纵联差动保护

纵联差动保护通过比较变压器高低压侧电流互感器二次电流实现故障定位。基于电流矢量比对的核心理论，能有效区分内部故障与外部扰动，在大容量变压器保护中发挥主导作用，搭配二次谐波制动技术可精准规

避励磁涌流引发的误动风险。正常运行时，两侧电流互感器变比匹配产生的差流接近零值；当内部发生短路故障时，故障电流导致差流显著增大，保护装置经延时确认后动作。为解决变压器空载合闸时励磁涌流可能引发的误动问题，采用二次谐波制动技术，通过检测差流中二次谐波含量占比超过设定阈值时闭锁保护。对于大容量变压器或并列运行场景，该保护方式可实现全范围快速切除，动作时间通常控制在毫秒级，但需严格校验电流互感器传变特性一致性，避免区外故障时因两侧电流互感器饱和程度差异产生过大不平衡电流。实际应用中还需配置差流越限告警功能，针对轻微匝间短路等小故障发出预警，同时优化制动系数设定，兼顾区内故障灵敏度与区外故障稳定性，适配电网负荷波动、设备并列切换等复杂运行工况。

1.3 电流速断保护

电流速断保护作为差动保护的重要补充，通过设置较高的动作电流定值实现内部严重故障的瞬时切除。结构简洁且动作迅猛，能在极端故障场景下快速切断电源，弥补差动保护在特定工况下的响应短板，常与过电流保护搭配形成多层防护，适配小容量设备的保护需求。该保护方式结构简单，动作时间可缩短至极短周期内，但受变压器绕组接线方式和系统运行方式影响，存在一定保护死区。例如，当故障点位于电流互感器安装位置与变压器绕组之间时，保护装置可能无法检测到足够故障电流而拒动。电流速断保护多用于小容量变压器保护，或作为差动保护拒动时的后备手段。实际应用中需与过电流保护配合，通过延时特性形成阶梯式保护格局，确保故障选择性切除，避免因保护范围重叠导致非故障设备误跳闸。

2 变压器外部故障的继电保护途径

2.1 过电流保护

过电流保护是变压器外部故障的基础防护手段，通过检测电流异常升高触发动作^[2]。适配各类外部短路故障，凭借定时限与反时限两种特性灵活适配不同场景，通过阶梯式时限设定与上下级保护协同，既能快速切除故障又能避免停电范围扩大，保障系统稳定。定时限过电流保护采用固定延时设计，动作时间与电流大小无关，仅由预设时限决定。例如，当变压器低压侧出线发生短路时，出线开关保护先动作；若其拒动，变压器过电流保护经0.3秒延时后跳闸，作为后备手段保障系统安全。反时限过电流保护则引入电流-时间特性曲线，动作时间随故障电流增大而缩短。例如，当故障电流达到5倍额定电流时，动作时间缩短至0.1秒；当电流为2倍额定电流时，动作时间延长至1秒。这种设计更贴合实际故障特征，适用于对动作速度要求较高的场景，如农村电网或末端负荷变压器保护。

2.2 复合电压启动的过电流保护

传统过电流保护在系统电压波动时可能误动，例如，当变压器负载骤增导致电压下降时，电流升高可能触发保护动作，影响供电连续性。融合负序电压与低电压双重判据优化保护逻辑，大幅提升复杂工况下的故障识别精度，有效规避正常负荷波动引发的误动，为升压变压器等关键设备提供高可靠性防护。复合电压启动的过电流保护通过引入负序电压和低电压元件解决这一问题。负序电压反映系统不对称程度，当发生单相接地或两相短路时，负序电压显著升高；低电压元件则检测电压下降幅度，仅当电压低于设定值且电流超过定值时保护动作。这种复合判据设计大幅提升了保护灵敏度，尤其适用于升压变压器或系统联络变压器等关键设备。该保护方式对变压器低压侧母线故障具有更高响应速度，可缩短故障切除时间，减少设备损伤。

2.3 零序电流保护

在中性点直接接地系统中，单相接地故障占比较高，可能引发电弧接地过电压或设备绝缘击穿。针对接地故障的电气特性设计，通过捕捉零序电流分量实现精确定位，保护配置需与变压器接地方式精准匹配，能快速切除单相接地故障，防止过电压损坏设备，是接地系统必备防护环节。零序电流保护通过检测中性点接地侧的零序电流实现故障定位。当系统发生单相接地时，故障相电流通过大地形成回路，中性点接地装置中流过零序电流，保护装置检测到该电流后动作跳闸。零序电流保护的配置需与变压器接地方式匹配。对于中性点直接接地变压器，零序电流保护可独立设置；对于经间隙接地或电阻接地变压器，需结合接地方式调整保护定值。

该保护方式对单相接地故障灵敏度高，动作时间短，是中性点接地系统中的重要防护手段。

3 变压器异常运行状态的继电保护途径

3.1 过负荷保护

过负荷保护通过监测变压器绕组电流判断负载水平，当电流超过额定值且持续一定时间时触发动作。兼顾设备耐受能力与供电连续性，动作值需结合设备容量和负载特性精准设定，通过反时限特性实现过载分级管控，搭配减载装置可进一步延长重要设备运行寿命^[3]。单相电流继电器是常用检测元件，动作值需根据变压器容量和负载特性设定。长期运行于轻载状态的变压器，过负荷保护定值可适当放宽；而对频繁过载的配电变压器，需缩短动作延时以限制温升。设计时需重点考虑电动机自启动等尖峰电流的影响。系统故障后电动机群重新启动时，可能产生数倍于额定电流的冲击，若保护定值设置过低会导致误动作。为此，过负荷保护常采用反时限特性曲线，即电流越大，允许的过载时间越短。对于重要变压器，还可配置过负荷减载装置，通过自动切除部分非关键负荷延长设备运行时间。

3.2 温度保护

温度保护通过监测变压器顶层油温或绕组热点温度实现过热预警。直接捕捉设备温度变化，不受电流电压波动干扰，能精准应对冷却系统故障或高温环境引发的过热，搭配风冷联动可进一步提升干式变压器的散热效率，延缓绝缘老化。温度传感器通常布置在油箱顶部或绕组内部，将温度信号转换为电信号后传输至保护装置。当温度超过85摄氏度报警阈值时，装置发出声光信号提醒运维人员；若持续升高至95摄氏度跳闸阈值，则直接切断电源防止设备烧毁。该保护方式对冷却系统故障或环境温度过高引发的过热尤为有效。对于干式变压器，还可结合风冷系统联动，当温度升至70摄氏度时自动启动风机增强散热。

3.3 油面保护

油面保护针对油浸式变压器油位下降问题，通过油位计检测油箱内油面高度。与瓦斯保护协同构建双重防护体系，覆盖油位轻微下降与急剧下降等不同场景，需适配设备运行工况设置合理延时，避免油温波动引发的误动，保障油浸设备绝缘和散热功能稳定。当油面因漏油或检修放油降至危险值时，保护装置触发报警或跳闸。该保护常与瓦斯保护协同工作，形成对油位异常的双重防护：油面轻微下降时瓦斯保护轻瓦斯动作发信，油面急剧下降时油面保护直接跳闸。配置时需考虑变压器运行工况对油位的影响。负荷突变可能导致油温快速

变化,进而引起油面波动,此时保护装置应具备一定延时避免误动^[4]。对于强油循环变压器,还需监测油流速度,当油泵故障导致油流停滞时联动跳闸。

4 继电保护装置的配置与协同策略

4.1 主保护与后备保护的动态配合机制

主保护作为第一道防线,需具备毫秒级响应能力以限制故障扩散。构建主后备双重防护体系,主保护依托差动与瓦斯保护实现内部故障快速切除,后备保护通过过电流与零序保护补位,形成功能互补,确保单一保护失效时仍能可靠切除故障。差动保护通过比较变压器各侧电流矢量和实现内部故障精准定位,动作时间通常控制在20-40毫秒内。瓦斯保护则通过检测油流速度或气体产生量识别绕组匝间短路等隐蔽性故障,尤其对绝缘劣化引发的局部放电具有高灵敏度。这两种保护方式构成变压器内部故障的核心防护体系,要求在故障发生后立即动作,避免设备遭受不可逆损伤。后备保护作为安全冗余,需在主保护失效时承担故障切除任务。过电流保护通过检测电流异常升高触发动作,动作时限按阶梯原则设置。零序电流保护针对中性点接地系统单相接地故障设计,动作时间通常比相间过电流保护缩短0.1秒。

4.2 时限特性的分级协调策略

时限协调是保障保护选择性的关键技术。通过差异化时限设定构建有序防护时序,从故障点向电源侧逐级延长动作时间,搭配速动段与延时段灵活配合,既能快速切除严重故障,又能避免扰动引发的误动,适配复杂系统运行需求。阶梯时限特性通过为不同位置保护装置设置差异化延时,构建从故障点向电源侧逐级递增的动作时序。例如,变压器低压侧出线保护动作时限设为0秒,变压器本体保护延时0.3秒,高压侧线路保护延时0.6秒。这种设计确保故障由最近保护装置切除,最大限度缩小停电范围。速动段与延时段的配合则平衡了快速性与可靠性需求。速动段针对严重故障设置较短延时,通常不超过0.1秒,以限制设备损坏程度;延时段用于处理过渡电阻故障或系统振荡引发的电流波动,通过延长动作时间避免误动。现代数字保护装置采用自适应时限算法,可根据系统运行方式动态调整延时参数,在新能源高渗透场景下显著提升保护性能。

4.3 多级保护系统的立体化整合

高压侧保护聚焦外部短路与接地故障防御,需配置高灵敏度方向元件以区分故障方向。整合高低压侧保护功能,依托光纤通信实现数据实时交互,通过站域控制系统优化动作策略,构建全域协同的立体化保护网络,适配智能化电网的发展趋势。采用负序方向元件识别不对称故障,零序方向元件定位接地故障点。保护范围需覆盖变压器至高压线路末端,与线路保护形成无缝衔接^[5]。低压侧保护承担母线保护与配电线路后备双重职能,需通过复合电压闭锁提升动作可靠性。当母线发生三相短路时,低压侧过电流保护经0秒延时跳闸;若为相间短路,则需复合电压元件动作后解除闭锁。配电线路故障时,低压侧保护作为远后备,动作时限需与线路保护阶梯配合。信息交互技术推动保护系统向智能化演进。站域保护控制系统将全站保护装置整合为统一平台,通过数据共享与逻辑判断优化动作策略,在复杂故障场景下可将故障切除时间缩短0.2秒以上。

结束语

配电变压器继电保护途径多样,内部、外部故障及异常运行状态均有相应保护措施。主保护与后备保护动态配合、时限特性分级协调、多级保护系统立体化整合,构建起全面且可靠的防护体系。在实际应用中,需根据变压器具体情况和系统运行需求,精准配置保护装置,优化协同策略,确保变压器在各种工况下都能安全稳定运行,为建筑电气系统可靠供电提供坚实保障。

参考文献

- [1]林立见.继电保护技术要求及配电变压器整定计算实例[J].自动化应用,2025,66(24):102-104.
- [2]邱树明.多端柔性直流配电网继电保护控制技术研究[J].电工技术,2024(8):103-105.
- [3]刘海兵.配网变压器二次侧继电保护优化方案[J].自动化应用,2023,64(4):64-66.
- [4]李俊鹏,周羽生.配电网自适应式电流速断综合继电保护方案[J].电工技术,2022(13):35-39,156.
- [5]陈万钦.10kV配电系统继电保护配置及整定计算[J].集成电路应用,2022,39(1):288-289.