功率方向过流保护异常动作的原因分析与解决途径

张根水
浙江杭钢动力有限公司　浙江　杭州　311100

摘　要：功率方向过流保护异常动作源于硬件采样与出口回路性能偏移、系统非对称故障及振荡等特殊工况、定值与逻辑配置失当、环境温湿度及电磁干扰等多重因素。排查需从采样检测、定值复核、工况核验及硬件老化判定四方面入手。针对性解决包括硬件整改、定值逻辑优化、工况自适应适配及抗干扰环境治理。长效运维则应建立常态化校验、回路巡检、定值动态复核与环境管控等制度性保障体系。

关键词：功率方向过流保护；异常动作；硬件采样；运维保障

引言：功率方向过流保护承担着快速隔离故障的重要职能，其异常动作会直接危及一次设备安全与系统稳定运行。导致该类保护误动或拒动的诱因往往贯穿于装置硬件、系统工况、定值逻辑以及外部环境等多个维度。相应地，排查识别工作需从采样校验、逻辑复核、工况核验和硬件检测等方面有序推进。解决途径则涵盖设备整改、定值优化、工况适配及抗干扰治理等具体措施。长远来看，还需依托常态化校验、定期巡检、动态复核及环境管控等制度性安排，方能形成闭环管理并持续降低异常风险。

1 功率方向过流保护异常动作原因分析

1.1 硬件与环境层面诱因

采样回路中互感器饱和特性改变或模数转换通道增益不稳，会直接扭曲输入电气量的幅值与相位，使方向元件感受到的电压电流夹角偏离实际值。出口继电器机械特性退化或驱动电容老化，易导致动作时限偏离预设并产生抖动。装置电源纹波过大、现场温湿度漂移引起的零点偏移，以及电磁干扰经空间辐射或接地回路耦合叠加，均会拉偏逻辑判决电平或比较器翻转阈值，叠加二次回路绝缘下降引入的共模干扰，使保护在临界条件下呈现不确定性。

1.2 系统运行工况层面诱因

非对称故障或频率偏移会迅速改变电压电流相位关系，而过渡电阻偏大时故障分量有功方向可能反转，致使方向元件对故障区域判断失真。重负荷条件下负荷分量叠加于故障分量之上，使测量阻抗大幅波动；系统振荡期间电压角度剧烈摆动，方向元件可能短暂将区外振荡误判为区内故障，上述工况均显著增加误动风险。

1.3 定值与逻辑配置层面诱因

灵敏角整定若偏离被保护线路阻抗特性，外部故障时易误判方向；过流启动值若接近最大负荷电流，负荷波动时易越限，若整定过高则区内金属性故障时可能无法启动[1]。各段保护间的配合时限及方向使能条件设置不当，会破坏上下级协调性；电压死区处理策略不合理时，母线电压跌至闭锁值附近将导致逻辑频繁切换，最终引发异常动作输出。

2 功率方向过流保护异常动作排查与识别方法

2.1 装置采样信号检测校验方法

开展排查工作首先要从采样通道入手。可以把标准测试信号从装置输入端加入，然后比对装置内部显示的数据与实测值之间的偏差程度，重点关注幅值误差和相位偏移是否在允许范围之内。同时还要检查各采样通道之间的一致性，防止因通道间延时差异导致方向角计算出现系统性偏差。对于零序电压和零序电流的接入回路，更要单独进行极性校验，确保其连接关系完全符合设计图纸[2]。在检测过程中还应观察采样值在持续通电情况下的稳定性，排除因接触不良或焊点虚接造成的数据跳变。只有确认采样数据真实可信，后续的逻辑判断才有可靠基础。

2.2 保护定值与逻辑复核校验方法

定值与逻辑复核须对照整定通知单逐项核对装置内部各段定值参数，确保电流启动值、时间延迟及方向灵敏角等关键数据无误，并检查存储单元是否异常改写。同时核验方向元件电压死区设置与母线PT二次额定值的匹配程度，避免死区过宽或过窄导致方向判别失效。针对功率方向过流保护，试验校验方法如下：在额定电压下施加故障相电流，逐步改变电流与电压间的相位角，记录保护动作边界，验证实际灵敏角与整定值偏差是否在允许范围内；同时在不同电压幅值下测试死区范围，确认方向元件在近区故障时可靠动作。图1展示功率方向过流保护以90°接线，灵敏角为45°的相量图。

ℓ_{sen}：最大灵敏角；$-(90°+\ell_{sen})<\arg\frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{I}_A}<90°-\ell_{sen}$

该角度区间为方向元件动作区；落在区间外为制动区。配电线路常用$\ell_{sen}=-45°$，代入得到实际动作角度范围：

$$-45°<\arg\frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{I}_A}<135°$$

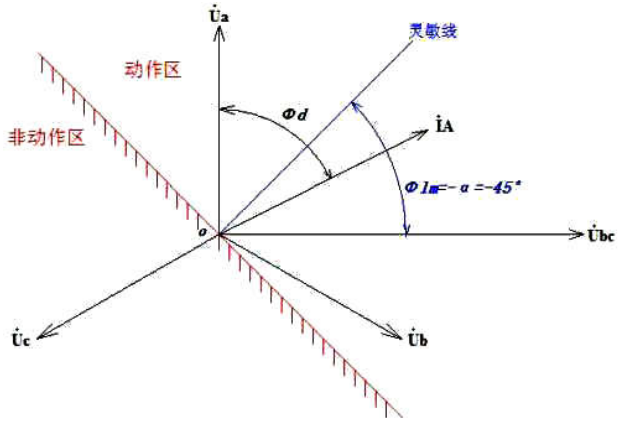


图1 功率方向过流保护以90°接线，灵敏角为45°的相量图

功率方向过流保护动作方程为：$\dot{U}\cdot\dot{I}\cos(\varphi-\varphi_{sen})\geq U_{set}I_{set}$，其中$\varphi_{sen}$为灵敏角，φ为电压与电流夹角，满足方程且电压大于死区阈值时开放方向判别。

2.3 系统运行工况匹配性核验方式

核验系统工况匹配性时，需要调取保护动作前后的系统运行记录，包括负荷水平、母线电压幅值以及系统频率变化轨迹，以此判断故障时刻的运行状态是否处于保护设计所覆盖的范围之内。应当关注故障发生瞬间电压跌落深度和电流增大倍数，评估方向元件实际感受到的相位角是否可能因过渡电阻或负荷分量的影响而偏离预设方向。还要考察系统是否处于非全相运行或振荡等特殊工况，这些情形下的电气量特征与典型故障差异显著。各故障工况下方程表现如下：正方向相间故障：$\mathrm{Re}\left[\dot{U}_{BC}\cdot\dot{I}_A^*\right]>0$，方向开放；若$I>I_{set}$，保护跳闸。反方向故障：电流相量翻转180°，$\mathrm{Re}\left[\dot{U}_{BC}\cdot\dot{I}_A^*\right]<0$，方向元件制动，保护不动作。TA极性接反：二次电流人为转180；正向故障判据 < 0拒动；反向故障判据 > 0，电流满足时发生误动。出口三相短路(电压死区)：$\dot{U}_{BC}\approx 0,\mathrm{Re}\left[\dot{U}_{BC}\cdot\dot{I}_A^*\right]\approx 0$，判据失效，方向元件失去判别能力。最后将保护动作时刻的电气量序列与整定值进行对比，判断实际故障边界是否落在保护区划定范围之中。

2.4 装置硬件性能检测与老化判定方法

硬件性能检测着重对电源模块、采样元件和输出继电器进行专项测试。应测量电源模块在各负载条件下的输出电压稳定度及纹波系数，判断其供电品质是否满足数字电路和模拟电路的工作要求。对采样回路中的互感器和信号调理电路，通过施加不同幅值和频率的测试量来观察其线性度和频率响应特性，从而评估是否存在磁芯饱和或器件带宽不足的问题[3]。输出继电器需要测试其动作电压和返回系数，并记录动作时间的一致性，以此判定触点和线圈的老化程度。此外，还应检查装置内部电解电容的外观和容量变化，以及关键芯片引脚是否存在氧化或虚焊，综合判定整体健康水平。

3 功率方向过流保护异常动作针对性解决途径

3.1 硬件缺陷整改与设备优化方案

针对硬件层面的异常诱因，在处理时需优先解决采样回路与出口回路的关键薄弱环节。若发现互感器或模数转换通道存在性能偏移，应当更换为稳定性更好且温度特性优良的同规格器件，同时对整个信号调理链路进行重新标定，确保幅值和相位传递的一致性。对于电源模块输出纹波过大的情况，可以通过更换滤波电容或调整开关频率来改善供电品质，避免纹波耦合至模拟电路影响判别基准。输出继电器方面，应选用动作电压和返回系数更为稳定的型号，并合理调整其驱动回路参数，缩短动作分散性。

3.2 保护定值与逻辑优化调整策略

定值与逻辑的优化要立足于实际一次设备参数和电网结构的具体特征，重新核算方向灵敏角并合理收窄电压死区范围，确保方向元件在各种故障类型下都能获得清晰的动作边界。过流启动值的整定需要综合最大负荷电流和最小故障电流两方面因素，选取一个既能可靠避让负荷波动又不至于在区内故障时拒动的中间值。各段保护间的时限配合也要重新梳理，尤其是相邻上下级之间需留有足够的时间级差，防止因时限重叠导致选择性丧失。逻辑方面，应简化方向判别使能条件的组合关系，消除不必要的闭锁环节，并对电压恢复过程中逻辑复归时序加以规范，避免暂态波动引发误出口。

3.3 系统运行工况适配优化措施

系统运行工况变化带来的方向误判，需要通过动态调整保护响应特性来加以适配。当系统存在较大负荷电流或频繁出现非对称运行状态时，应考虑引入方向元件的自适应门槛策略，使启动值跟随负荷水平自动调整，从而保持方向判别的一致性。对于系统振荡或频率偏移期间的保护行为，可以增加振荡闭锁或频率跟踪环节，确保在这些特殊工况下方向元件不会因角度剧烈变化而误动[4]。针对过渡电阻较大的故障情形，应当降低方向元件对有功分量的依赖程度，转而增加无功或零序方向的

辅助判别手段，提升对高阻故障的辨识能力，从而拓展保护对复杂工况的适应范围。

3.4 抗干扰与运行环境优化手段

优化抗干扰能力及运行环境是保障保护装置长期稳定运行的重要环节。应在二次回路侧加强屏蔽层的单端可靠接地，并检查各信号线缆与动力电缆的敷设间距是否足够，以减小空间电磁场对弱电信号的侵入。对于直流电源引入端，加装电源滤波器和瞬态抑制器件，能够有效削弱供电回路中的高频纹波和浪涌冲击。在运行环境管控方面，需对安装屏柜内的温湿度实施监测与调节，必要时加装通风或除湿设施，防止凝露或高温加速元器件老化。定期清洁装置内部及端子排上的积尘，维持绝缘性能良好，从而从外部条件层面降低因环境干扰引发异常动作的概率。

3.5 建立常态化装置性能校验机制

将装置性能校验纳入固定制度，依据设备运行年限与工况重要性合理划分周期，每年至少开展一次全面检验，重点涵盖采样精度、动作时限及出口继电器动作可靠性。校验前制定项目清单与验收标准，检验后如实记录数据并与历史值比对，发现参数劣化趋势即提前干预。校验用仪器仪表应定期溯源，确保其准确性。为每台装置建立独立健康档案，归集历次校验结果、缺陷处理及更换记录，便于后续追踪分析。

3.6 完善二次回路定期巡检维护体系

巡检重点包括端子连接、线缆绝缘及接地系统的完整可靠性，周期应结合环境条件合理确定，潮湿或多尘区域需加密频次。每次巡检应核查端子排紧固程度，观察有无氧化、松动或过热变色迹象，同时测试各信号回路对地绝缘电阻，确保其处于合格范围。对电压、电流互感器的二次接线，需检查极性端子连接是否与原设计一致，防止误改动[5]。接地系统方面，应测量屏蔽层接地电阻并检查接地线完好性，保证干扰泄放路径通畅，维护记录完整留存，形成闭环管理。

3.7 优化保护定值动态复核流程

定值复核应建立滚动复审机制，根据电网结构变动、负荷增长及设备更换等情况主动触发再核算流程，而非等待问题出现。复核时逐项核对当前定值与最新运行参数，重点校核电流启动门槛、方向灵敏角及时限级差是否符合当前工况，并验证装置内部存储数据与整定通知单完全一致，避免因录入或传输误差导致偏差。复核结果须经多方签字确认，新旧版本定值变更记录清晰归档，确保调整有据、过程可溯。

3.8 强化设备运行环境常态化管控

建立温湿度定期记录制度，对屏柜内部温度及湿度实施连续监测，超限时及时启动通风降温或除湿措施。制定防尘清扫计划，重点清理装置散热孔、端子排及印制电路板表面积尘，防止积尘受潮形成漏电通道。屏柜电缆进出口及缝隙应封堵，防止小动物进入引发短路。若安装位置附近存在较大机械振动，需采取减振固定措施，从物理环境层面保障装置长期稳定运行。

结束语：功率方向过流保护异常动作的防范与治理是一项系统性工程，其成效直接关系到电力设备安全及电网运行可靠性。从异常诱因的精准辨识，到排查方法的规范执行，再到解决途径的有效落地，最终依靠长效运维机制形成闭环管理，各个环节缺一不可。唯有坚持源头防范与过程管控并重，持续积累运行数据并优化整定策略，才能将异常动作风险控制在可接受范围之内，切实提升保护装置的安全运行水平。

参考文献

[1]陈维,陈振勇,付智鑫,等.特高压直流保护动作异常GRNN-PSO识别[J].计算机仿真,2026,43(5):65-69.

[2]郭少飞,杨鹏,徐潜,等.基于虚拟无功功率方向的有源配电网保护方案[J].现代电力,2026,43(1):81-91+I0002.

[3]伊文阳,付久龙.方向性过流保护故障模拟的分析及校验[J].电工技术,2022,(2):79-80.

[4]王沥泽.考虑瞬时功率的柔性直流配电线路保护方法[J].电力与能源,2024,45(2):160-163+168.

[5]刘沛然,张硕,王小丽,等.配电自动化的定向过电流保护研究[J].电气技术与经济,2024,(6):4-6.