

继电保护装置二次检修中的误动原因分析与防范

高圣凯 徐辰

国网宁夏电力有限公司宁东供电公司 宁夏 银川 750000

【摘要】：继电保护是保障电力系统安全稳定运行的关键技术环节，二次检修过程中易出现装置误动问题，影响电网可靠运行。论文围绕整定方案失配、接线错误、二次回路绝缘缺陷、互感器异常及电磁干扰等技术诱因展开分析，从整定优化、接线校验、绝缘管控、互感器运维及抗干扰治理等方面提出纯技术治理措施，可有效抑制保护误动，提升继电保护在复杂工况下的动作可靠性，为电力系统安全运行提供技术支持。

【关键词】：继电保护；二次检修；误动作；二次回路；电磁干扰

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.085

1 继电保护概述及安全运行重要性

1.1 继电保护系统功能与作用

继电保护系统以电力系统一次设备运行参数为监测对象，通过实时采集电流、电压等电气模拟量，实现对线路、变压器、开关柜等关键设备运行状态的不间断判别。系统依托预设动作逻辑，在电网发生短路、过载、单相接地等故障工况时，快速触发跳闸回路以隔离故障区段，同时为运行监控端提供精准的故障类型与位置信息。在二次检修作业涉及的回路切换、定值调整、装置校验等场景中，继电保护装置同步承担运行工况闭锁、异常状态告警等功能，通过与测控、稳控等系统的协同配合，维持电网拓扑结构与潮流分布的稳定性，避免故障范围延伸引发电网解列或设备损毁，为二次检修作业的安全开展提供电气边界与状态约束。

1.2 继电保护正确动作对电力系统稳定的重要意义

继电保护动作行为的准确性直接决定电力系统暂态过程的控制效果，其速动性、灵敏性与选择性指标直接影响电网电压、频率的稳定水平^[1]。在二次检修引发的回路状态变更、装置工况切换过程中，保护装置若出现误动，会造成无故障区段断路器非正常跳闸，引发区域性供电中断，破坏区域电网的功率平衡与潮流传输秩序。保护装置可靠动作可有效区分检修状态与故障状态，避免因二次回路扰动、电磁耦合干扰等因素导致的非故障跳闸，保障主网与配网传输路径的连续性，维持发电机组、负荷中心之间的稳定连接，为电网常态化运行与柔性调控提供基础保障，契合新型电力系统对保护装置可靠性与抗扰动能力的技术发展要求。

2 继电保护常见误动作主要原因

2.1 整定方案与实际工况不匹配

继电保护整定值的理论计算多基于理想运行拓扑与标准负荷模型，未充分考虑电网动态运行中负荷波动、设备投切冲击及暂态分量特性，易与现场实际电气工况产生偏差^[2]。保护动作电流、动作时限及灵敏度参数仅按理论配合关系设定，无法适配励磁涌流、非周期分量等暂态电气量特征，导致保护判

据在非故障扰动下触发动作逻辑。整定参数未结合系统运行方式变化进行动态修正，保护判据阈值与实际扰动水平不匹配，直接引发保护装置在二次检修及正常投运过程中出现误动行为。

2.2 保护装置及二次回路错误接线

二次回路接线偏差会直接改变保护装置的电气量采集路径与逻辑控制回路，造成采集信号失真或控制逻辑异常。失灵启动回路、跳闸回路、信号回路等接线错位，会使保护装置在区外故障或检修扰动下错误触发出跳闸逻辑。装置内部配线与外部电缆接线未严格对应设计拓扑，电流电压回路极性接反、中性线连接错误等问题，会导致采样电气量相位与幅值异常，破坏保护差动逻辑、方向判别逻辑的运算基础，进而形成无故障条件下的误动触发条件。

2.3 二次回路绝缘不良与施工工艺缺陷

二次回路绝缘水平下降会引发回路间串扰、对地泄漏电流增大等问题，直接影响保护采样精度与动作可靠性^[3]。电缆敷设、终端制作及穿管密封等施工工艺不规范，会造成绝缘层损伤、密封失效，引发回路受潮或局部短接现象。TA、TV二次回路绝缘缺陷会产生异常差流与电压偏移，使保护装置判据计算偏离正常区间。回路绝缘劣化还会加剧电磁耦合干扰的传导效应，改变保护装置输入电气量特征，在无系统故障时满足误动判据，引发非计划动作行为。

2.4 电流、电压互感器运行异常

电流互感器铁心饱和会导致一次与二次电流传输非线性失真，不平衡电流显著增大，超出保护装置固有抑制能力，使差动等保护逻辑误判为内部故障。互感器二次回路断线会造成电气量采集中断，保护装置电压电流采样值异常，距离保护、方向保护等元件因测量参数缺失而误动作。二次回路多点接地会引发电位偏移与相角畸变，改变保护测量阻抗与故障判别依据。互感器极性与变比参数异常，同样会破坏保护装置的稳态与暂态计算模型，诱发误动。

2.5 外部电磁干扰影响

电力系统内断路器操作、短路故障暂态过程及高频设备运行,会产生强电磁辐射与传导干扰,通过二次电缆耦合进入保护装置。电磁干扰会叠加在模拟量采样回路中,造成电流电压采样波形畸变,使保护算法提取的故障特征量出现偏差。干扰信号还会侵入数字逻辑回路,影响保护CPU运算与出口逻辑判断,导致装置在无故障工况下错误输出跳闸指令。电磁耦合路径未得到有效抑制时,干扰能量可直接突破装置内部抗扰阈值,触发保护误动。

3 继电保护误动作防范措施

3.1 优化完善继电保护整定方案

基于电网实时拓扑与暂态电气量特征构建自适应整定模型,先采集线路负荷电流、变压器励磁涌流幅值、非周期分量衰减特性等原始数据,以可靠系数1.3为基准完成初始动作电流计算,将电流保护I段启动电流按6倍额定电流标定,同步设置0.3秒延时环节以规避暂态涌流冲击。采用二次谐波制动算法,制动判据满足公式:

$$I_2 > I_{set2}(1)$$

式中, I_2 为二次谐波电流幅值, I_{set2} 为二次谐波制动定值。通过波形间断角识别区分励磁涌流与故障电流,避免空投变压器时保护误触发。结合系统运行方式变化开展毫秒级定值动态修正,实时更新动作电流、时限配合与灵敏度参数,对差动保护不平衡电流阈值按2.0A(二次值)进行约束,同时完成上下级保护时限级差0.5秒的精准配合。嵌入在线校核模块,持续比对最小两相短路电流与整定值的匹配关系,依据实时潮流与短路容量迭代优化判据参数,形成采集、计算、修正、闭锁、校核的闭环整定体系,全面适配新型电力系统动态运行特性,从参数层面消除因整定与工况失配引发的误动诱因。

3.2 规范接线施工与安装校验管理

3.2.1 二次回路接线精度控制与信号回路拓扑匹配

以保护装置出厂原理图与现场二次接线施工图为基准,对跳闸回路、失灵启动回路、交流采样回路进行逐点拓扑核对,电流回路导线截面选用4平方毫米铜芯线缆,电压回路与信号回路采用2.5平方毫米铜芯线缆,确保回路载流能力与信号传输稳定性^[4]。接线过程中严格执行端子压接工艺,单端子接入导线数量不超过2根,线芯剥线长度控制在8毫米,杜绝虚接、错接与绝缘层破损。交流电流回路严格遵循同相序、同极性接入规则,中性线回路采用独立专用线缆直接引至保护屏接地排,避免与其他回路共用路径。接线完成后通过通断测试与低电压注入方式验证回路导通特性,对每一路采样回路与控制回路进行电气连续性校验,确保接线拓扑与设计参数完全一致,从物理连接层面消除信号畸变与逻辑误触发条件。

3.2.2 保护装置安装就位与电气接口精度校验

保护装置屏体安装间距保持在800毫米标准尺寸,屏间接地铜排截面不小于50平方毫米,实现等电位连接与干扰泄放通道构建。装置背板航空插头与二次电缆连接时,针脚对位精度控制在0.1毫米以内,锁紧力矩设定为1.2牛·米,保证连接可靠无松动。对电流互感器二次回路、电压互感器二次回路分别进行空载加压与带载测试,注入额定二次电流5安培、额定二次电压100伏标准信号,校验装置采样精度误差不超过0.5%。同步开展逻辑回路传动试验,对保护启动、出口跳闸、信号闭锁等回路进行逐逻辑节点电气校验,确认回路动作时序与设计逻辑完全吻合,消除因安装偏差与接口接触不良引发的保护误动隐患。

3.3 强化二次回路绝缘检测与施工管控

3.3.1 二次回路绝缘检测流程与技术标准落实

采用2500伏兆欧表对二次回路进行绝缘电阻检测,检测前先断开所有保护装置电源与互感器二次侧接线,将回路接地端可靠接地,静置10分钟后开始测量。对交流电流回路、电压回路、控制回路分别进行对地绝缘测试,每回路测试时间不少于60秒,记录绝缘电阻值不低于100兆欧,若检测值低于标准则立即停止施工并排查绝缘缺陷。检测完成后采用500伏兆欧表进行二次复核,确保数据一致性。同步开展回路耐压试验,施加2000伏交流电压,持续加压30秒,无击穿、闪络现象视为合格,检测数据实时录入系统形成可追溯档案,实现绝缘检测全流程闭环管控,从源头规避绝缘不良引发的回路串扰与误动风险。

3.3.2 二次回路施工工艺精细化管控

二次电缆敷设采用分层穿管方式,电缆保护管选用直径20毫米镀锌钢管,管口加装绝缘护圈,避免损伤电缆绝缘层。电缆终端制作时,绝缘层剥切长度控制在15毫米,采用热缩套管密封,热缩温度设定为120℃,保温时间不少于5分钟,确保密封严密无间隙。地下敷设电缆时,保护管埋深不小于0.7米,管间间距保持150毫米,转角处弯曲半径不小于电缆直径的10倍。接线端子采用镀锡铜端子,压接压力控制在8千牛,压接后进行绝缘包裹处理。施工过程中同步开展绝缘巡检,每完成一段回路施工立即进行绝缘测试,及时整改绝缘破损、密封不严等问题,保障二次回路绝缘性能长期稳定。

3.4 提升互感器运行可靠性与维护水平

3.4.1 互感器选型适配与安装工艺控制

依据电网运行工况与保护装置技术要求,选用抗饱和性能优良的互感器铁芯材质,优化铁芯结构设计以增强暂态特性适配能力,确保铁芯在暂态电流冲击下保持线性传输特性^[5]。安装过程中严格控制互感器安装角度与固定精度,确保一次绕组与二次绕组同心度偏差控制在合理范围,避免因安装偏移导致

磁场畸变。互感器二次绕组接线采用独立屏蔽线缆，屏蔽层单端接地且接地电阻控制在规定范围，杜绝干扰信号通过绕组耦合影响传输精度。安装完成后对互感器绕组极性进行精准核对，通过极性试验确认绕组接线正确性，同时检查绕组引出线连接可靠性，避免因连接松动引发接触不良，从选型与安装层面保障互感器运行稳定性。

3.4.2 互感器运维检测与状态闭环管控

建立互感器全生命周期状态监测体系，定期对互感器绕组绝缘状态进行检测，采用专用检测设备排查绕组绝缘劣化、受潮等隐患，及时处理绝缘层破损、老化等问题。针对电流互感器，重点开展铁芯饱和特性检测，通过波形分析判断铁芯工作状态，优化铁芯制动结构以提升抗饱和能力。对电压互感器二次回路进行定期导通检测，排查回路断线、接触不良等缺陷，确保二次电压信号稳定传输。同步开展互感器变比与误差校验，及时调整偏差参数，保障互感器输出电气量与一次系统工况精准匹配。构建互感器状态数据库，实时记录运行参数与检测结果，通过趋势分析预判设备运行状态，提前开展针对性维护，实现互感器运维的精细化、智能化管控，从运维层面降低异常运行引发的保护误动风险。

3.5 加强电磁干扰屏蔽与抗干扰治理

3.5.1 二次回路电磁屏蔽结构优化

对继电保护装置外部敷设的二次电缆全程采用双层金属屏蔽结构，屏蔽层沿电缆全长连续包裹且无断点，电缆敷设路径与高压带电回路保持足够空间间隔，减少交变磁场直接耦合

侵入。保护屏柜内部加装完整金属屏蔽隔板，将交流采样回路、控制回路与强电操作回路进行物理分隔，阻断干扰信号在屏内的传导与辐射路径。电缆屏蔽层采用单点接地方式，接地位置统一设置于保护装置侧，避免形成地电位差引发环流干扰，同时对屏蔽层与接地体进行可靠电气连接，保证干扰能量能够快速泄放，提升回路整体抗电磁耦合能力。

3.5.2 装置内部抗干扰技术强化

在继电保护装置模拟量采集端口串联高频滤波器件，抑制断路器操作、系统短路等暂态过程产生的高频干扰分量，保证采样波形纯净度。对装置核心运算单元与数字逻辑回路增设电磁兼容防护电路，削弱空间辐射干扰对内部信号处理流程的影响。二次回路端子排采用隔离型端子结构，对强电回路与弱电采样回路进行电气隔离，阻断干扰沿接线端子的传导通道。优化装置内部接地布局，构建独立的信号接地系统与屏蔽接地系统，减少不同回路间的电位串扰，从硬件电路与结构设计层面提升装置在复杂电磁环境下的工作稳定性，避免干扰触发保护误动作。

4 结语

继电保护误动直接威胁电力系统稳定运行，其诱因多集中于二次回路与设备本体的技术缺陷。通过优化整定参数、规范接线工艺、强化绝缘检测、提升互感器性能及完善抗干扰措施，能够从技术层面消除误动隐患。在新型电力系统建设背景下，持续深化二次系统技术管控与状态监测，对实现继电保护可靠动作、保障电网安全稳定运行具有重要工程意义。

参考文献：

- [1] 夏金亮,侯国志.变电站二次设备继电保护状态监测与检修任务分配研究[J].电力设备管理,2026,(01):184-186.
- [2] 马林.基于云计算的电气继电保护二次设备状态检修技术[J].电气技术与经济,2025,(12):406-408.
- [3] 汪源,吴侃.智能变电站继电保护二次回路检修技术[J].通讯世界,2025,32(11):98-100.
- [4] 石兴瑞,张涛,张钰,等.基于人工智能的变电二次继电保护状态检修技术[J].电气技术与经济,2025,(10):350-352.
- [5] 潘健雄.基于继电保护二次回路的检修维护对策思考[J].通讯世界,2025,32(09):106-108.