

10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患评估

季诚

大连电力建设集团有限公司开供分公司

摘要: 10 kV 开关柜防误闭锁装置稳定运行是电力系统安全管控的核心要点,失效隐患易诱发重大电力安全事故,厘清装置失效的核心作用要素与潜藏风险,搭建规范的隐患评估架构,对增强电力设备运维效能具备关键价值。梳理装置失效的各类表征形式,解析隐患生成内在机理,探寻适配的评估路径与防控方案,能够为电力运维实践提供有力支撑,降低装置失效可能性,维护电网供电安全与持续稳定。

关键词: 10 kV 开关柜;防误闭锁装置;失效隐患;隐患评估;电力安全

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.03.012

引言

10 kV 开关柜是电力系统配网环节的核心设备,操作安全性直接关联电网稳定运转与供电可靠水平,防误闭锁装置是规避开关柜误操作风险的核心防护部件,失效时易引发带负荷拉合隔离开关、误碰带电设备等危险场景,造成设备损毁、停电事故乃至人员伤亡,防误闭锁装置失效隐患的隐蔽属性与突发特征,抬升运维工作执行难度与潜在风险,深挖失效隐患的产生根源、表现特征及评估方法,搭建完备防控机制,是破解当下运维难题、夯实电力安全防线的核心举措,为后续系统推进隐患排查与治理工作铺垫根基。

1 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患的核心表现与危害界定

1.1 机械类防误闭锁装置失效的具体表现形式

机械类防误闭锁装置失效集中体现于传动机构与闭锁元件的异常工况,闭锁销、连杆等关键传动部件经长期摩擦易出现磨损、变形或卡滞问题,致使装置无法正常完成闭锁或解锁动作,隔离开关与断路器之间的机械联锁失效即属此类,难以严格执行“先断开断路器再拉开隔离开关”的操作逻辑,闭锁机构的弹簧部件长期受力会出现弹性衰减或断裂,造成闭锁力不足,无法有效限制误操作行为。机械闭锁装置的闭锁间隙调整不当同样会引发失效,间隙过大易导致闭锁不到位,间隙过小则可能造成解锁困难,两类情况都会让装置丧失应有防护作用,无法对违规操作形成有效约束。

1.2 电气类防误闭锁装置失效的典型特征识别

电气类防误闭锁装置失效主要体现为电气回路故障与电子元件损坏。辅助开关作为电气闭锁核心部件,其触点经电弧烧蚀、氧化锈蚀易出现接触不良或粘连问题,致使闭锁信号无法准确传输,造成装置误判或拒动。继电器、接触器等控制元件的线圈烧毁、触点

抖动等故障,会导致电气闭锁回路无法正常导通或断开,难以实现对操作步骤的精准管控。电气闭锁的电源模块故障、线路绝缘老化破损引发的短路或断路问题,也会造成装置整体失效,无法发挥防误闭锁功能,抬升误操作风险。

1.3 失效隐患引发的电力系统连锁风险危害分析

防误闭锁装置失效隐患若未及时排查治理,易引发一系列电力系统连锁风险,装置失效导致带负荷拉合隔离开关时,会产生强烈电弧,烧毁设备部件并可能引发相间短路,造成开关柜损坏,误碰带电设备或误操作接地开关,可能导致人员触电伤亡事故,同时破坏电网正常运行结构,严重情况下局部故障会迅速扩散^[1],引发区域停电,影响工业生产与居民生活用电。设备损坏后的维修工作需耗费大量时间与人力物力,既增加运维成本,又降低电网供电可靠性,对电力系统安全稳定运行造成多重冲击。

2 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患的成因剖析

2.1 装置自身设计缺陷与制造工艺不达标因素

部分防误闭锁装置设计阶段未充分考量 10 kV 开关柜实际运行环境与操作需求,存在结构设计欠合理、关键部件选型失当等问题,机械闭锁机构传动比设计失衡会造成操作阻力过大,长期投运易引发部件损毁,电气闭锁回路保护设计欠缺,难以有效抵御过电压、电磁干扰等外部扰动,制造工艺不达标亦是诱发失效隐患的核心诱因^[2]。零部件加工精度不足、装配流程不规范,可能造成装置配合间隙异常、传动卡顿等故障,材料选用不符标准,机械部件采用低强度合金、电气元件选用劣质成品,会大幅缩减装置使用寿命与运行可靠度,埋下先天失效隐患。

2.2 运维操作不规范与日常养护缺失的影响

运维操作不规范会直接损伤防误闭锁装置,操作过程用力过猛、违规撬动闭锁部件,可能造成机械结

构变形、电气触点损毁。未严格依照操作规程开展设备检修, 拆装闭锁装置时未落实防护措施, 可能引入杂质或造成部件错位, 干扰装置正常投运。日常养护缺失会加速装置老化失效, 未定期对机械部件实施润滑保养, 导致传动部件磨损加剧, 未及时清理电气回路灰尘、湿气, 可能引发元件锈蚀、绝缘水平下降, 对装置运行状态巡检不到位, 无法及时捕捉早期失效征兆, 使得小隐患逐步演变为严重故障, 最终造成装置失效。

2.3 环境因素与设备老化对装置性能的侵蚀

10 kV 开关柜多投运于户外或工业厂房等场景, 高温、高湿、粉尘、腐蚀性气体等环境因素会对防误闭锁装置形成持续侵蚀。高温环境会加速电气元件老化, 降低绝缘性能; 高湿与腐蚀性气体易造成金属部件锈蚀、电气触点氧化, 影响装置导电性能与机械传动效率; 粉尘堆积会堵塞机械传动间隙, 造成部件卡滞, 同时随设备运行年限增长, 防误闭锁装置各类部件会自然老化, 机械部件磨损、电气元件性能衰减不可避免, 若未及时更新换代, 会使装置运行可靠度逐步下降, 最终诱发失效隐患, 电网运行过程中的电压波动、电磁干扰等因素, 也会对电气闭锁装置性能产生不利作用, 提升失效概率。

3 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患的评估指标构建

3.1 基于失效机理的评估指标筛选原则确立

评估指标筛选需紧密贴合防误闭锁装置失效机理, 确保指标精准映射隐患核心特征与严重程度。指标需具备针对性, 聚焦机械与电气两类装置关键失效环节, 规避选取与失效隐患关联度较低的指标; 指标应具有可操作性, 能够通过现场检测、运行数据采集等方式获取准确信息, 便于开展实际评估工作; 可靠性原则同样不可或缺, 所选指标需在不同运行环境、不同型号装置中具有普遍适用性, 规避因个体差异导致评估结果失真; 指标还应兼顾全面性, 覆盖失效隐患形成原因、表现形式及潜在危害等多个维度, 确保评估体系完整性。

3.2 机械与电气类失效隐患核心评估指标设定

机械类失效隐患核心评估指标包括传动机构磨损程度、闭锁间隙偏差值、弹簧弹性系数衰减率、闭锁动作灵活性等。传动机构磨损程度可通过检测部件尺寸变化、表面粗糙度等参数确定, 闭锁间隙偏差值反映装置装配精度与运行状态, 偏差过大表明隐患风险较高, 弹簧弹性系数衰减率直接关系到闭锁力稳定性, 衰减率超标会降低装置防护能力, 闭锁动作灵活性通过测试装置解锁与闭锁的顺畅程度评估, 卡顿现象表

明存在失效隐^[3]。电气类失效隐患核心评估指标涵盖辅助开关触点接触电阻、继电器动作响应时间、电气回路绝缘电阻、电源模块输出稳定性等, 这些指标能够精准反映电气回路与元件运行状态, 及时识别潜在失效风险。

3.3 评估指标权重分配与等级划分标准制定

指标权重分配需根据各类指标对装置失效影响的严重程度确定, 对可能直接导致装置完全失效的关键指标赋予较高权重, 如机械闭锁的传动机构磨损程度、电气闭锁的辅助开关触点接触电阻等, 综合考量隐患发生概率、危害后果等因素, 采用科学的权重分配方法, 确保评估结果能够准确反映隐患实际风险等级。等级划分标准需结合装置运行规程与安全规范, 将各指标检测结果划分为不同风险等级, 明确各等级阈值范围, 将传动机构磨损程度划分为轻微磨损、中度磨损、严重磨损三个等级, 对应不同的隐患风险水平, 为后续针对性治理提供明确依据。

4 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患的针对性治理策略

4.1 基于设计优化的失效隐患源头防控措施

针对装置设计缺陷需开展针对性优化改进工作, 机械闭锁装置设计中优化传动机构结构, 合理设定传动比, 选用高强度且耐磨性能优异的材料制作关键部件, 提升装置机械强度与服役周期, 完善电气闭锁回路保护设计, 增设过电压保护、电磁屏蔽等功能, 强化装置对外部干扰的抵御效能^[4]。结合 10 kV 开关柜实际运行环境优化装置密封设计, 防止粉尘、湿气侵入内部影响运行性能, 产品研发阶段加强设计验证试验, 模拟不同运行工况下的装置性能表现, 及时发现并修正设计层面存在的缺陷, 从源头环节降低失效隐患萌生概率。通过多维度设计优化举措构建装置可靠运行的先天基础, 全面提升设备整体抗失效能力。

4.2 面向运维环节的隐患排查与整改方案

建立常态化隐患排查机制, 制定详尽的排查流程与统一标准, 定期对防误闭锁装置开展全维度检测, 运用专业检测设备对机械部件磨损程度、闭锁间隙等关键参数进行精准测量, 对电气回路绝缘电阻、触点接触电阻等指标实施全面检测。针对排查发现的隐患制定个性化整改方案, 明确具体整改措施、责任主体与完成时限。轻微隐患需及时开展现场处理, 对机械部件进行润滑保养、调整闭锁间隙等; 严重隐患需立即停止相关设备运行, 更换失效部件或整套装置, 确保整改工作落地见效。同时强化排查与整改过程的监督管控, 保障各项工作执行质量, 通过闭环管理模式

及时消除运维阶段产生的各类失效风险。

4.3 环境适应性提升与设备老化防控手段

为提升装置环境适应性,需针对不同运行环境采取靶向防护措施。高温、高湿环境中为开关柜配备降温、除湿设备,优化内部通风条件;粉尘、腐蚀性气体较多的场所加强开关柜密封处理,定期对装置进行深度清洁维护。建立设备老化预警机制,通过对装置运行数据的持续监测与深度分析,精准判断部件老化程度,提前制定科学的更新换代计划。定期更换老化严重的部件,规避因部件老化引发的装置失效问题,此外强化电网运行参数管控,稳定电压运行水平,减少电磁干扰对电气闭锁装置的不利影响,为装置营造稳定可靠的运行环境条件,多管齐下实现对环境因素与设备老化的有效防控。

5 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患治理的保障机制构建

5.1 全生命周期运维管理体系的完善路径

构建覆盖装置选型、安装、运行、检修、更换全环节的全生命周期运维管理体系,选型阶段严格把控产品质量门槛,筛选设计科学、制造工艺合规的装置,安装过程严格遵循施工规范,保障装置装配精度达标,运行阶段强化状态监测力度。实时掌握装置运行动态,检修阶段制定科学检修计划,运用先进检修技术提升检修质量,建立完备运维档案,详实记录装置选型参数、安装记录、检修详情等全维度信息,为全生命周期管理提供精准数据支撑,依托体系化管理实现对装置运行全过程的有效管控,保障治理工作的连续性与实施效能。

5.2 技术升级与创新应用的推进策略

积极推进防误闭锁装置技术升级与创新应用进程,引入先进检测技术与智能化设备,提升隐患排查与治理的精准度及效率,采用在线监测系统对装置运行状态实施实时监控,及时捕捉早期失效征兆,应用智能化诊断技术精准剖析隐患成因,为整改方案制定提供科学依据。加强与科研机构、生产企业的协同合作,

研发可靠性更高、环境适应性更强的新型防误闭锁装置,推动装置技术迭代升级,同时推广成熟新技术、新方法在运维工作中的落地应用,优化治理流程,全面提升整体治理水平。

5.3 质量管控与责任追溯机制的建立健全

建立健全全链条质量管控机制,从装置生产、采购、安装到运维各环节强化质量监督,生产环节督促企业严格执行质量标准,强化产品出厂检验,采购环节严格筛选供应商,对产品质量实施严格验收,安装与运维环节加强过程质量管控,确保各项工作符合规范要求,建立责任追溯机制,明确各环节责任主体^[5]。针对因质量问题、操作不当等导致装置失效的情况,严格追究相关方责任,借助质量管控与责任追溯的双重保障,倒逼各相关方落实主体责任、规范工作行为,从根源上提升防误闭锁装置运行可靠性,保障电力系统安全稳定运行。

6 结语

本文围绕 10 kV 开关柜防误闭锁装置失效隐患评估展开系统探讨,明确失效隐患表现形式与危害,剖析成因并构建科学评估指标体系,提出针对性治理策略与保障机制,相关成果可为实际运维提供有效支撑。后续需持续关注技术发展趋势,优化评估治理方法,强化全流程管控,切实降低失效风险,助力电力系统实现更高质量安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 冉佳,范官盛,叶运铭,等.10kV 开关柜防误操作装置设计与应用研究[J].电力设备管理,2025(22):53-55.
- [2] 彭晓娟.10kV 开关柜带电局部放电诊断及定位分析[J].农村电工,2025,33(11):45-46.
- [3] 黄晶.10kV 开关柜检修过程中引发的安全事故分析[J].农村电工,2025,33(11):58-59.
- [4] 李长辉,高康,张轩豪,等.基于声纹监测的 10kV 开关柜运行状态评估[J].电工材料,2025(4):68-71.
- [5] 方丽婷.ZS1 型号 10kV 成套开关柜综合防误闭锁完善措施探究[J].电子测试,2018(24):91-92.