

110千伏GIS三工位闸刀故障分析与处理

刘 沛 于涛洋

河南平芝高压开关有限公司 河南 平顶山 467000

摘 要：随着电力系统的不断发展，110千伏GIS设备在电网中的应用日益广泛。本文针对110千伏GIS三工位闸刀故障进行深入分析，探讨了故障的主要原因，如绝缘性能下降、导电异物导致局部放电等。同时，提出了相应的故障处理措施，包括紧急隔离故障设备、更换受损部件、加强设备监测与维护等。通过这些措施的实施，有效提高了设备的稳定性和可靠性，为电力系统的安全运行提供了有力保障。

关键词：110千伏；GIS三工位闸刀；故障分析；处理

引言：在电力系统中，110千伏GIS（气体绝缘组合电器）设备扮演着至关重要的角色，而三工位闸刀作为其核心部件之一，其运行状态直接关系到整个系统的安全与稳定。近年来，随着GIS设备在电网中的广泛应用，三工位闸刀故障问题日益凸显。本文旨在通过对110千伏GIS三工位闸刀故障进行深入分析，探讨故障成因，提出有效的处理措施，以期提升GIS设备运行可靠性和电力系统稳定性提供借鉴与参考。

1 110 千伏 GIS 三工位闸刀故障概述

1.1 故障定义与分类

（1）瞬时性故障与永久性故障。瞬时性故障指故障持续时间极短，通常由雷击、鸟害等瞬时因素引发，故障点绝缘可自行恢复，重合闸动作后设备能恢复正常运行。永久性故障则因设备绝缘击穿、机械卡涩等固有缺陷导致，故障点无法自行消除，需人工检修才能恢复，重合闸动作后会再次跳闸。（2）单相接地故障、相间接地故障与相间短路故障。单相接地故障是指一相导体与大地或接地体意外连接，多由绝缘老化、异物搭接引起，会导致中性点位移电压升高。相间接地故障涉及两相导体分别与大地连接，常伴随绝缘同时损坏，故障电流较大。相间短路故障为两相或三相导体直接短接，故障电流最大，对设备冲击最剧烈，多由导体间距离不足、机械故障导致。

1.2 故障对电力系统的影响

（1）线路跳闸与重合闸机制。故障发生时，继电保护装置（如母线差动保护、过流保护）迅速动作，触发线路开关跳闸，切断故障电流以防止事故扩大。对于瞬时性故障，重合闸装置在短延时（约0.5-1秒）后发出合闸指令，若成功恢复供电，可减少停电时间；若为永久性故障，重合闸失败会导致开关再次跳闸，增加开关动作次数和系统冲击，长期可能降低开关使用寿命。（2）

主变失电与低电压动作。110千伏GIS三工位闸刀故障可能导致关联主变失去电源，主变二次侧电压骤降，引发下游配电线路低电压保护动作，造成用户端设备（如电动机、变压器）自动跳闸，扩大停电范围。同时，主变突然甩负荷会导致系统电压、频率波动，影响其他并联运行主变的稳定性，甚至引发连锁反应。（3）系统稳定性与供电可靠性受损。故障产生的冲击电流会破坏系统功率平衡，导致电压崩溃、频率失稳等问题，严重时引发系统振荡。多次故障或长时间停电会降低供电可靠性，对工业生产造成停机损失，影响居民生活用电。此外，故障处理过程中需进行倒闸操作，增加人员误操作风险，进一步威胁电网安全运行，降低用户对电力系统的信任度^[1]。

2 110 千伏 GIS 三工位闸刀故障案例分析

2.1 典型故障案例分析

2.1.1 故障现象描述

在某110千伏变电站运行过程中，母线差动保护突然动作。该保护基于基尔霍夫电流定律，正常时进出母线电流平衡，故障时平衡被打破从而启动。此动作迅速切断了相关电路，紧接着，连接该110千伏GIS三工位闸刀的开关跳闸。由于系统设置了重合闸机制，短暂延时后开关尝试重合闸，但此次故障为永久性故障，重合闸失败，开关再次跳闸。故障发生后，由该闸刀供电的部分设备瞬间失电，直至后续故障排查修复完成，工作人员逐步恢复供电，设备才恢复正常运行。

2.1.2 故障排查过程

故障发生后，检修人员迅速赶赴现场进行查勘。首先对GIS设备的SF₆气体成分进行检测，因为不同放电故障会使SF₆气体分解产生不同特征产物。检测结果显示，气室内有电弧放电迹象。随后，检修人员对设备进行解体检查。在仔细拆解110千伏GIS三工位闸刀相关部件

后,最终确定故障位置位于BC相间绝缘拉杆处。

2.2 故障原因分析

(1) 绝缘拉杆表面闪络与电弧放电。经现场解体确认,110千伏一/二段联络一段母线三工位闸刀BC相间绝缘拉杆表面发生闪络。这可能是由于长期运行中,绝缘拉杆表面绝缘性能下降,在高电场强度下,绝缘被击穿,引发电弧放电,导致闸刀故障。(2) 导电异物导致的悬浮类局部放电。根据现场故障前在线监测局放波形及开关解体情况分析,三工位开关气室内存在导电异物。例如,在拉杆现场更换过程中,若最上端清洁度不够,含金属异物可能掉落至最下端B相导体上,形成金属尖端,恶化相间电场,引发悬浮类局放。送电时,在电场作用下,异物带有电荷,可能在导体间气隙中起举、桥接,附着在绝缘拉杆表面,降低击穿电压,致使SF6绝缘性能恶化,最终造成绝缘拉杆击穿闪络^[2]。(3) 开关操作震动与电场恶化。开关频繁操作产生的震动,可能使屏蔽件内异物震出,或使气室内原有的金属异物移位。这些异物在开关操作瞬时过电压及复杂电场作用下,形成带电尖端,恶化气隙电场。同时,开关操作震动也可能对绝缘拉杆等部件造成潜在损伤,加速绝缘老化,在多种因素共同作用下,导致闸刀故障发生。

3 110 千伏 GIS 三工位闸刀故障处理措施

3.1 紧急处理措施

(1) 故障设备隔离与备品备件准备。故障确认后,需立即通过操作相关隔离开关、接地开关,将故障的110千伏GIS三工位闸刀与运行系统可靠隔离,划定安全作业区域并设置警示标识,防止误操作引发二次事故。同时,迅速核查备品备件库存,确保绝缘拉杆、SF6气体、密封垫圈等关键部件型号匹配、性能合格。联系供应商紧急调配稀缺备件,同步做好工具准备,包括专用拆装工具、气体回收装置、真空抽气设备等,为现场抢修争取时间。(2) 现场更换绝缘拉杆与气室处理。拆除故障闸刀的外壳及连接件,取出受损的绝缘拉杆,清理气室内残留的金属微粒、粉尘等异物,用无水乙醇擦拭绝缘表面。安装新绝缘拉杆时,需严格控制安装力矩,确保密封面平整贴合。对气室进行抽真空处理,真空度需达到规定标准并保持一定时间,随后充入合格的SF6气体至额定压力,静置24小时后检测气体湿度和密封性,确保无泄漏。期间做好作业记录,包括拆装步骤、关键参数测量值等,为后续分析提供依据^[3]。

3.2 长期预防措施

(1) 加强设备出厂试验与现场磨合操作。设备出厂前,要求厂家增加绝缘拉杆局部放电试验、机械操作耐

久性试验,模拟极端工况下的运行状态,确保关键部件性能稳定。设备到货后,在现场安装完毕进行分合闸操作磨合,累计操作次数不少于50次,观察操作机构动作的平滑性,测量分合闸时间、速度等参数,与出厂值对比,偏差超限时及时调整。(2) 安装特高频在线监测装置进行局放监测。在GIS设备气室关键部位安装特高频传感器,实时采集局部放电信号,通过后台系统分析放电幅值、频次、相位等特征,建立局放数据库和预警阈值。当监测到异常局放信号时,自动发出告警,便于运维人员提前介入排查。定期对监测装置进行校准,保证数据准确性,结合年度检修开展离线局放检测,实现在线与离线监测的相互验证。(3) 提高设备安装清洁度与异物防范。安装过程中实行无尘化作业,作业人员需穿戴专用防静电服、手套,工具经过严格清洁并编号管理。气室开盖时采取防尘措施,如覆盖洁净薄膜,内部清理采用专用吸尘器和lint-free抹布。引入异物检测技术,在安装后通过内窥镜检查气室内部,确保无遗留工具、金属碎屑等。完善验收标准,对清洁度不达标的设备坚决不予投运^[4]。

3.3 处理效果评估与验证

(1) 在线监测数据与设备运行状况分析。处理完成后,连续6个月跟踪特高频在线监测数据,对比故障前后的局放信号变化,确认异常信号已消除。统计设备运行参数,包括分合闸时间、SF6气体压力及湿度、温升等,均需处于合格范围。开展红外热成像检测,检查闸刀触头接触情况,无过热现象。结合调度记录,评估设备在不同负荷工况下的稳定性,验证处理措施的有效性。(2) 同类设备故障率对比与改进效果评价。选取同型号、同运行年限的110千伏GIS三工位闸刀作为参照组,对比处理前后的故障发生率、平均无故障运行时间。若目标设备故障率较参照组降低50%以上,且未再发生绝缘拉杆闪络、异物放电等同类故障,说明预防措施有效。组织专业评审,总结处理经验并纳入设备运维规程,对其他变电站同类设备的检修提供参考,形成闭环管理。

4 110 千伏 GIS 三工位闸刀故障预防与管理策略

4.1 设备维护与检修计划制定

(1) 周期性检修与预防性试验安排。结合110千伏GIS三工位闸刀的运行特性和厂家技术规范,制定差异化的周期性检修计划。对于投运不满5年的设备,每年开展1次常规检修,重点检查操作机构灵活性、SF6气体压力及密封性;投运5年以上的设备,每3年增加1次深度检修,包括绝缘拉杆绝缘电阻测试、触头接触电阻测量等。预防性试验按季度进行,包含特高频局部放电检

测、机械特性试验（分合闸时间、速度），每年开展1次SF₆气体成分分析，通过气室分解产物变化趋势判断内部潜伏性故障。检修周期可根据设备运行环境调整，如污秽严重区域缩短至半年1次常规检查，确保及时发现异常。（2）关键设备部件的寿命管理与更换策略。建立关键部件全生命周期台账，记录绝缘拉杆、操作机构弹簧、密封件等的出厂日期、投运时间及历次检测数据。根据运行经验和试验数据，设定更换阈值：绝缘拉杆在局部放电量超5pC时强制更换；操作机构部件出现卡涩、磨损超过标准值30%时立即更换。采用“状态评估+预测性更换”模式，通过在线监测数据预测部件剩余寿命，提前6个月储备备件，确保更换工作在非高峰负荷期完成，减少对供电的影响。

4.2 运行人员培训与应急响应能力提升

（1）故障识别与初步处理技能培训。编制针对性培训教材，涵盖110千伏GIS三工位闸刀典型故障现象（如保护动作特征、异响、气体泄漏报警）及对应的判断方法。每月开展实操培训，模拟母线差动保护动作、开关拒动等场景，训练运行人员通过监控系统数据、设备外观检查快速定位故障类型。组织技术骨干学习SF₆气体检测仪器、红外热像仪的操作，掌握初步故障隔离技巧，如正确使用接地开关、设置安全围栏等，确保故障发生后能在30分钟内完成初步处置。（2）应急预案制定与演练实施。制定《110千伏GIS三工位闸刀故障应急处置预案》，明确调度、运维、检修等部门的职责分工，规范故障上报流程、隔离步骤、负荷转移方案。每半年组织1次联合演练，模拟永久性故障导致主变失电场景，检验人员响应速度（目标 ≤ 15分钟）、备品调用效率及多部门协同能力。演练后召开复盘会，分析流程漏洞，如2024年某站演练中发现备件定位耗时过长，随后优化仓库标识系统，将取用时间缩短至5分钟，持续提升应急处置的精准性。

4.3 设备选型与采购管理优化

（1）设备质量与性能评估标准制定。建立严格的设

备选型标准体系，核心指标包括：绝缘拉杆采用耐电弧、抗老化的环氧树脂材质，局部放电量 ≤ 3pC；操作机构机械寿命 ≥ 10000次；SF₆气室漏气率 ≤ 0.1%/年。引入第三方检测机构，对入围厂家的样机进行型式试验，重点验证极端温度（-30℃~50℃）下的运行稳定性。将在线监测接口、模块化设计纳入加分项，优先选择支持特高频局放监测、便于部件更换的型号，降低后期维护难度。（2）厂家合作与技术支持协议签订。在采购合同中明确厂家技术支持条款：要求提供不少于5年的免费技术咨询，每年2次现场运维指导；设备出现重大故障时，厂家技术人员需在24小时内到达现场。建立供应商动态评价机制，将故障响应速度、备件供应及时性纳入年度考核，对连续2年评分低于80分的厂家暂停合作资格。与优质厂家联合开展技术攻关，如针对绝缘拉杆闪络问题共同研发新型防污涂层，通过“产学研结合”提升设备可靠性，形成长期稳定的合作关系。

结束语

综上所述，通过对110千伏GIS三工位闸刀故障的系统分析与处理，我们掌握了关键的故障排查与修复技术。这些经验不仅增强了我们对GIS设备故障处理的能力，更为电力系统的安全稳定运行提供了坚实保障。未来，我们将持续优化故障处理流程，加强设备监测与维护，确保GIS设备长期高效运行。同时，我们也期待与行业同仁共同探索，推动GIS技术的不断创新与发展。

参考文献

- [1]张明.110kV GIS三工位隔离开关故障分析与处理[J].电力系统装备,2022,(04):46-47.
- [2]陈志刚.GIS设备三工位隔离开关常见故障及处理措施[J].电气技术与经济2021,(07):79-80.
- [3]黄永强,周晓东.一起110kV GIS三工位隔离开关故障的分析与处理[J].高压电器,2021,(10):108-109.
- [4]吴志勇.GIS三工位隔离开关机械故障诊断与处理[J].电力系统保护与控制,2020,(12):126-127.