

# 变电站 GIS 组合电器设备异常情况及处理方法

马朝阳 李津原 侯吉廷

国网吴忠供电公司 宁夏吴忠 751100

**摘要:** 本文系统分析变电站 GIS 组合电器设备运行过程中可能出现的异常情况及相关处理方法。GIS 组合电器作为电力系统关键设备,其安全稳定运行直接关系到电网可靠性。文章从设备异常危害、典型异常问题与处理措施三个维度展开论述,重点阐述 SF<sub>6</sub> 气体泄漏、绝缘性能降低、机械操作异常、控制回路故障等常见问题的识别与解决方案,旨在提高运维人员故障处理能力,保障电力系统安全稳定运行。

**关键词:** 变电站; GIS 组合电器; 异常情况; 处理方法

## 1. GIS 组合电器设备异常的危害

### 1.1 供电可靠性下降与系统稳定威胁

500kV 变电站 GIS 组合电器作为电网核心枢纽设备,一旦母线分段断路器发生异常状态,将直接导致区域供电可靠性显著下降,电力用户面临频繁低电压困扰。电网 N-1 安全稳定裕度遭受严重削弱,潮流分布不均匀性增大,母线电压合格率难以保障<sup>[1]</sup>。GIS 断路器拒跳故障情况下,差动保护装置可能越级跳闸或拒动,引发断路器失灵保护动作,造成多条出线同时解列事故。变电站重要一次性负荷受到冲击,自动化控制系统、直流操作电源等辅助设备运行安全难以保障。

### 1.2 设备安全隐患与人身伤害风险

变电站 GIS 设备内部 110kV 至 500kV 高压导体与 SF<sub>6</sub> 绝缘介质共存于全封闭金属外壳空间,异常状况易引发设备炸裂事故。SF<sub>6</sub> 气体绝缘强度下降时,断路器开断能力降低,设备内部闪络放电甚至复合闪络概率显著提高。压力容器结构一旦失效,0.6MPa 高压气体瞬间释放产生的冲击波足以摧毁变电站二次保护柜、控制室等关键设施。站内运维人员面临多重安全威胁,包括工频高压触电、分合闸机械冲击、弧光灼伤等职业风险。SF<sub>6</sub> 气体泄漏情形下,电弧作用分解物含有 SOF<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 等有毒物质,在变电站封闭空间内浓度迅速积聚,吸入后可引发肺水肿、呼吸道损伤乃至生命危险。

### 1.3 经济损失扩大与环境影响加剧

变电站 GIS 设备异常状态引发的经济损失呈现多层次叠加特征,直接损失包括套管更换费用、断路器机构维修、气体回收装置投入等,单台 500kV 断路器大修费用可达 500

万元以上。间接损失更为可观,变电站解列导致的工业用户电压暂降、钢铁厂生产线停机、数据中心 UPS 切换等连锁反应难以精确量化。电力用户因变电站供电质量问题提出的电能质量补偿请求逐年增加,电力监管部门处罚与赔偿金额持续攀升。生态层面,变电站 SF<sub>6</sub> 气体属强效温室气体,GWP 值高达二氧化碳 22800 倍,500kV GIS 每年泄漏率约 0.5%,造成的碳排放当量相当于数十辆汽车年排放量。变电站内部故障状态下产生的气体分解物含高浓度氟化物,经雨水冲刷渗入地下水后破坏站区生态系统,污染修复周期可达数年。

## 2 GIS 组合电器设备常见异常问题

### 2.1 SF<sub>6</sub> 气体泄漏与密度异常

GIS 设备中 SF<sub>6</sub> 气体作为关键绝缘介质,其密度异常直接影响设备绝缘强度。气体泄漏问题普遍存在于法兰连接处、密封圈老化部位、阀门接口等薄弱环节,长期微漏累积效应显著。密度继电器频繁报警表明系统压力降低,夏季高温条件下气体膨胀掩盖泄漏现象,冬季低温时问题突显<sup>[2]</sup>。泄漏点往往隐蔽难寻,设备外壳结霜变色处可见蛛丝马迹。密度值持续下降触发联锁保护,造成断路器闭锁无法操作。充气间隔互窜现象破坏设备内部压力平衡,多间隔联动泄漏风险加剧。气室真空度异常则可能导致内部材料析出物质污染绝缘系统。

### 2.2 绝缘性能下降与局部放电

GIS 设备绝缘性能下降表现为击穿电压降低、泄漏电流增大、绝缘电阻值不稳定等特征。内部金属游离物质漂浮不定,沿电场移动引发游走性故障,难以精准定位。固体绝缘

件表面附着导电颗粒，形成微小放电通道，随时间推移逐渐扩展。局部放电现象初期极其微弱，常规检测手段难以捕捉，却能持续侵蚀绝缘材料结构。超声波探测器记录到的“滋滋”异响往往预示放电活动加剧，极紫外成像可见暗点分布区域。内部湿度增加导致固体绝缘材料表面水分子聚集，形成薄膜降低表面电阻率。盆式绝缘子内部微通道允许有害气体穿透，SF<sub>6</sub>分解物与残留水分反应生成酸性物质，腐蚀金属表面。

### 2.3 机械操作系统失灵与传动故障

机械操作系统失灵主要表现为拒动、缓动、抖动等异常现象，严重影响设备可靠性。操动机构内储能弹簧弹力衰减，导致断路器分合闸速度降低，动触头运行时间超限。传动轴连接销磨损变形，轴间隙增大引起传动死区，操作精度无法保证。轴承润滑不良形成干摩擦，电机过载运行，温升超标。密封圈老化变硬限制传动机构活动自由度，连杆间隙过大产生卡滞力矩。内部线圈绕组绝缘损伤导致线圈短路，电磁铁吸力不足难以驱动操作机构。部分机构锁扣卡涩，应急手动操作功能失效。缓冲装置性能退化使合关冲击力增大，主触头磨损加剧。多年运行后，机构内部金属疲劳导致微裂纹扩展，严重时可能造成操作机构断裂。

### 2.4 控制回路异常与二次设备失效

控制回路异常涉及信号传输链各环节，包括二次回路接线松动、元器件老化、电子模块故障等多种形式。辅助开关触点氧化腐蚀，接触电阻增大导致电压降超标，信号无法可靠传输。控制电缆绝缘老化劣化，潮湿环境中绝缘电阻下降，轻则引起保护误动，重则造成短路事故。智能单元板卡电源滤波电容失效，引入电网谐波干扰，造成单元随机重启现象。监控系统采集数据异常，设备状态显示与实际不符，误导运行人员判断。保护装置逻辑判断异常，可能导致误跳或拒跳情况出现。端子排接触不良产生虚接点，振动条件下断开再接通，引发控制信号抖动。二次设备通信模块故障导致数据上传中断，远程监控画面显示死区，设备状态无法实时监测。

### 2.5 温度异常与过热现象

GIS设备温度异常问题主要集中于接触部位电阻增大引起的局部过热现象。主回路触头接触不良，电流通过时在微小接触面积产生高密度热量，触点材料软化后变形加剧，形成恶性循环。连接螺栓松动造成电气连接点接触压力不足，

接触电阻随时间推移持续攀升。导体表面氧化层厚度增加，电流分布不均匀产生热点，局部温度远高于环境温度。连接器表面红外成像呈现明显热斑，温升超过标准值表明连接状况已处危险区域。断路器灭弧室承受大电流冲击后，灭弧触头烧损变形，开断能力下降，再次开断时温升异常<sup>[3]</sup>。控制回路电源模块元器件长期工作在高温环境，电解电容干涸膨胀，散热条件恶化导致整体温度持续升高。通风系统堵塞或风机故障同样导致设备整体散热能力大幅下降。

## 3. 变电站 GIS 组合电器设备异常处理方法

### 3.1 泄漏点定位技术与密封修复措施

变电站运维人员面对 GIS 气体泄漏问题，可采用多层次精准定位技术。红外成像仪扫描设备外壁，温差区域往往暗示潜在泄漏点位置。超声波检测仪捕捉气体泄漏产生的高频声波，在嘈杂环境中依然能够精确识别泄漏源。荧光示踪剂技术通过向系统注入特殊荧光物质，配合紫外光源照射，使微小泄漏点清晰可见。便携式卤素检漏仪灵敏度可达 1ppm，探头逐段检查可锁定具体泄漏部位。针对法兰连接处泄漏，应重新检查紧固螺栓扭矩，按对角顺序均匀加力至规定值。密封垫圈出现老化硬化现象时，必须更换为原厂同规格新品，安装前涂抹专用密封胶增强密封效果。阀门泄漏可通过更换填料函密封圈解决，重要阀门加装防松装置防止振动松动。严重泄漏情况下，须制定完备抢修方案，合理安排停电计划，必要时进行局部气体隔离，确保其他间隔正常运行。

### 3.2 局部放电检测与绝缘缺陷处理

变电站 GIS 设备局部放电检测采用多手段综合判断方法。超高频法通过安装在 GIS 外壳上的天线阵列，捕捉放电产生的电磁波信号，频率范围 300MHz 至 3GHz，可实现无接触式在线监测。特高频传感器对比分析各测点信号时间差，三角定位算法计算放电源精确位置。声学检测技术利用压电传感器检测放电产生的机械波，结合时域波形分析区分放电类型，判断严重程度。红外热像仪发现温度异常热点，暗示潜在放电活动区域。运维人员对确认存在绝缘缺陷部位实施针对性处理，游离金属颗粒通过专用吸附装置清除，避免二次污染。绝缘子表面污渍采用无水乙醇擦拭，保证表面洁净度满足要求。内部潮气通过加热固化装置进行干燥处理，气体置换前须测量露点值，确保低于规定阈值。导体尖端毛刺使用专用工具打磨平整，消除电场畸变点<sup>[4]</sup>。处理完

毕后,通过增加气压进行耐压试验,逐步提升至 1.1 倍额定值保持指定时间,确认缺陷彻底消除。重新灌气前必须抽真空至 99.9Pa 以下,确保腔体内不存在有害气体残留。

### 3.3 机械特性测试与传动系统调整

变电站 GIS 断路器机械特性测试是评估设备健康状态关键手段。行程特性测试采用高精度位移传感器记录动触头运动全过程,生成行程-时间曲线,计算平均速度、速度波动系数等核心参数。触头超程值必须控制在允许范围内,过大或过小均影响开断性能。时间特性测试使用高速采样设备,精确记录分合闸线圈通电至触头动作完成全过程,分析各阶段时间分配合理性。机构能量检测通过测量弹簧压缩长度或液压力值,判断储能是否满足操作要求。对存在异常参数传动系统进行精准调整,传动连杆螺栓松动需按规定扭矩重新紧固,连接销轴磨损超限必须更换同型号新件。缓冲装置阻尼特性偏离设计值时,调整缓冲弹簧预紧力或更换阻尼油,保证缓冲效果符合要求。润滑系统堵塞时,清洗管路并更换专用润滑脂,重点部位需定量注入,防止过多或不足。操作机构储能电机电流波形异常情况下,检查电机碳刷磨损状态,必要时更换碳刷并清理换向器。完成调整后进行多次空载试验,确认各项参数稳定可靠,方可恢复投入运行。

### 3.4 控制回路诊断与保护逻辑优化

变电站 GIS 控制回路诊断首先运用回路测试仪模拟各类操作信号,验证从发出指令到执行动作全过程可靠性。辅助开关接点电阻测量使用微欧计进行,正常值应小于 100 微欧,超限接点必须清洁处理或更换。二次回路绝缘测试采用 2500V 摇表,各回路对地绝缘电阻应大于 10 兆欧,否则须逐段排查定位薄弱环节。电缆端子接触不良往往表现为间歇性故障,应重新紧固所有接线端子,更换老化变形端子排。保护逻辑优化过程中,运维人员需审查现有保护定值合理性,根据电网运行方式变化适时调整。断路器失灵保护时间应综合考虑断路器固有动作时间与裕度,避免误动风险同时确保保护及时动作。控制板卡电源滤波电路老化现象通过示波器观察波形判断,更换关键滤波电容确保供电稳定。智能单元软件升级须遵循严格版本验证流程,防止引入新缺陷。通信系统光纤接口清洁度直接影响信号质量,专用工具清洁处理可显著提升通信可靠性。远程操作权限管理应建立严格审批机制,防止误操作风险。完整记录所有回路调整内容,形成闭环管理,确保每次优化均有迹可循,为后续检修提供

可靠依据。

### 3.5 预防性维护策略与状态监测体系

变电站 GIS 设备预防性维护策略基于设备重要性分级实施差异化管理。关键枢纽变电站设备采用更高频次巡检制度,重点检查项目包括气体密度监测、局部放电在线监测、温度监测等核心指标<sup>[5]</sup>。状态监测体系由多层级传感网络构成,气体密度传感器精度须达 0.01MPa,实现微小变化趋势分析。智能温度监测采用光纤测温技术,沿设备关键部位布置光纤,形成温度分布立体监测网络。特高频局部放电传感器采用阵列布置,覆盖所有潜在薄弱环节,数据通过专用分析软件进行趋势判断。机械特性监测装置记录每次操作参数,建立设备"指纹特征",实现早期异常识别。数据采集系统通过工业以太网汇集至站控层,形成完整监测链路。基于大数据分析技术,故障预警模型综合考量历史数据、环境因素、负荷变化等多维信息,计算设备健康指数。

## 4 结束语

GIS 组合电器作为现代电力系统核心设备,其运行状态直接影响电网安全稳定。面对复杂多变的异常情况,建立健全设备状态监测体系,掌握科学有效的故障处理方法,对提升设备可靠性具有重要意义。随着人工智能、大数据等技术深入应用,GIS 设备状态评估与故障诊断将更加精准高效。电力企业应不断完善维护管理体系,提升运维人员专业素养,促进设备全生命周期健康管理,为电力系统安全稳定运行提供坚实保障。

### 参考文献:

- [1] 倪一洋,路欣怡. 变电站 GIS 组合电器设备常见异常处理措施研究[J]. 工程技术研究,2024,9(19):98-100.
- [2] 罗徽. 变电站 GIS 组合电器设备的异常及故障处理研究[J]. 中国设备工程,2024,(09):137-139.
- [3] 刘文生. 论述变电站 GIS 组合电器设备异常情况 & 处理对策[J]. 科技与企业,2016,(01):227-228.
- [4] 陈晋. 变电站 GIS 组合电器设备的异常及故障处理方法[J]. 科技创新与应用,2013,(19):152.
- [5] 宋杰,陈冠彪. 浅谈变电站 GIS 组合电器设备的异常及故障处理方法[J]. 科技与企业,2012,(15):174.

作者简介:马朝阳(2000—),男,回族,宁夏吴忠人,本科,班员,研究方向为电气试验。