

高压开关柜典型故障原因及检修对策分析

阿迪力·玉素甫 蔡怀楠 刘 鑫

国网新疆电力有限公司哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘 要：高压开关柜是电力配电系统的核心设备，运行稳定性直接关乎电网供电安全。本文系统梳理设备机械动作异常、绝缘工况劣化、局部过热、二次回路失常四类典型故障，结合设备结构特性与运行环境，剖析部件损耗、环境侵蚀、接触不良、元件老化等核心诱因，针对性制定机械调校、绝缘补强、散热优化、回路规整的检修方案，可有效消解设备运行隐患，提升高压配电设备运维质量与供电稳定性。

关键词：高压开关柜；机械故障；绝缘劣化；局部过热；检修运维

引言：高压开关柜广泛应用于 3kV 至 35kV 电力系统，承担电能分配、线路通断与故障保护的重要功能，是保障配电网络平稳运行的关键设备。复杂的运行环境与长期持续的带载作业，易引发各类设备故障，威胁电网运行安全。结合设备模块化结构与运行机理，梳理各类故障的外在表现与深层诱因，落实精准高效的检修运维举措，能够有效规避设备故障引发的供电事故，稳固电力系统运行基础。

1 高压开关柜结构与工作原理

1.1 整体结构组成

高压开关柜是高压配电网络的核心一次设备，广泛应用于 3kV 至 35kV 电力系统，承担电能分配、线路通断、故障保护的核心职能。设备采用全封闭金属柜体设计，整体结构坚固规整，能抵御外部粉尘、湿气及机械撞击，适配复杂的户外、户内配电工况。柜体内部采用模块化分区设计，通过加厚金属隔板划分出多个独立功能腔室。主要分为母线室、断路器室、电缆室、仪表继电器室与操作机构室。独立分隔的结构形式可以阻隔故障热源与电弧，降低局部故障引发整体设备损坏的概率。母线室收纳主母线与分支母线，搭建电能传输的主干通道。断路器室承载核心通断设备，是柜体作业的核心区域^[1]。电缆室对接外部供电线路，集成接地开关、互感器等辅助器件。仪表与操作区域集中安置二次控制元件、计量设备和操作组件，完成设备操控、数据监测与安全防护的基础功能。

1.2 关键部件运行机制

真空断路器是开关柜的核心控制部件，依靠真空灭弧室实现高压电路的可靠通断。灭弧室内部真空度极高，电路开合过程中不会产生电离电弧，具备优异的绝缘和灭弧能力，可满足长期频繁投切的工作需求。设

备执行合闸操作时，操作机构释放储存的机械能量，推动动触头与静触头紧密贴合，导通高压供电回路。设备执行分闸操作时，机构快速带动触头分离，利用真空环境的绝缘优势快速阻隔电流，完成电路切断。接地开关专为设备检修设计，闭合后可释放线路残留电荷，消除线路带电隐患，为检修作业提供安全保障。电流与电压互感器可精准采集高压侧电气参数，转化为低压标准信号，供给计量、保护装置运算使用。柜体配套的泄压结构可在内部产生电弧故障时，快速排出积压高压气体，保护柜体结构完整。

1.3 常规工作运行逻辑

高压开关柜正常运行状态下，高压电能通过主母线稳定传输。断路器保持合闸状态时，电能顺着母线、断路器、出线电缆输送至后端用电设备。电网负荷出现小幅变动时，互感器持续采集各项电气参数，二次保护装置自主比对实时数据与预设参数，维持配电系统稳定运转。电网发生短路、过载、低压等故障问题时，保护装置迅速发出控制指令，驱动断路器快速分闸，切断故障线路，阻止故障持续蔓延。柜体搭载机械、电气双重闭锁结构，规避误操作带来的安全事故。设备停运检修需遵循固定流程，依次完成断路器分闸、隔离开关断开、接地开关闭合的操作，构建安全作业环境。多重结构防护与智能控制相配合，让高压开关柜始终保持稳定安全的运行状态，满足各类电力场景的配电需求。

2 高压开关柜典型故障表现形式

2.1 机械机构动作异常表现

机械机构故障是高压开关柜较为高发的故障类型，多源于长期往复运作、部件磨损或安装偏差。合闸、分闸操作会出现卡顿、行程不到位的问题。操作手柄或电动机构会出现空转、卡滞，无法完成完整的分合闸

行程。锁扣构件会出现卡涩失效,无法实现柜体闭锁功能,留下操作安全隐患。部分工况下,机构动作会伴随异响、抖动,操作力矩明显偏大。构件润滑脂干结、传动销轴磨损、弹簧疲劳变形,都会引发这类异常^[2]。故障轻微时只会影响操作流畅度,严重时会造成开关拒动,直接中断配电作业。

2.2 绝缘工况劣化表现

绝缘系统长期暴露在潮湿、多尘的运行环境中,性能会逐步衰退。瓷瓶、套管、绝缘隔板表面会堆积污秽,形成导电薄层。高压运行过程中会产生细微爬电痕迹,夜间巡检可观察到微弱电晕发光现象。潮湿天气环境下,柜体内部绝缘性能大幅下降,引发间歇性闪络放电。绝缘部件会出现开裂、老化、起皮等物理损伤。工频耐压试验数值会出现明显下降,泄露电流数值持续超标。这类故障具备隐蔽性,持续发展会引发相间短路、对地击穿等严重电力事故。

2.3 设备局部过热表现

设备长期带载运行,接触部位松动、氧化都会引发局部过热问题。触头接触面、母线搭接点、电缆接线端子是过热高发区域。红外测温检测可捕捉到局部温度异常升高,温升速率超出规范标准。长期高温会让金属接触面加速氧化,表层生成氧化膜,增大接触电阻,形成恶性循环。周边绝缘材料会出现轻微变色、硬化现象。负荷峰值阶段,过热问题会持续加剧,引发发热部位发红、异味灼烧等直观现象。持续过热会烧蚀接线构件与绝缘部件,诱发电路故障。

2.4 二次电气回路失常表现

二次回路负责信号采集、保护控制与回路监测,运行失常会直接影响设备保护功能。接线端子松动、线缆老化破损,会造成信号中断或数据紊乱。保护装置会出现误报、漏报故障信号,表盘计量数据出现大幅波动。控制回路不通电,分合闸遥控指令无法正常执行。信号回路出现虚接故障,会造成设备状态显示与实际运行工况不符。二次元件老化、继电器触点烧蚀,会导致保护闭锁功能失效。这类故障不会直接造成高压断电,却会削弱整套设备的安全防护能力,让系统失去故障应急处置能力。

3 高压开关柜故障诱发因素梳理

3.1 机械部件损耗与装配偏差诱因

高压开关柜机械机构需要长期承受分合闸操作的机械冲击,频繁往复运动极易造成零部件自然损耗。传动连杆、销轴、弹簧等精密构件会出现磨损、弹性衰减、形变松弛等问题,直接改变机构原有传动行程与配合

间隙。日常运维养护不到位,润滑介质干枯流失,会加剧构件摩擦损耗,让机构运动阻力持续增大。设备出厂装配、现场安装阶段的精度偏差,也会埋下长期运行隐患。零部件对位不准、固定螺栓紧固力度不均、限位构件调试参数偏移,都会让机构长期处于非正常受力状态^[3]。细微偏差会随着设备运行时间不断累积,逐步引发操作卡顿、行程不足、闭锁失灵等机械故障,大幅降低设备操作可靠性。

3.2 绝缘介质环境侵蚀诱因

绝缘部件性能退化大多源自外部运行环境的持续侵蚀。配电室通风条件较差、环境湿度长期偏高,会让柜体内部水汽积聚,在绝缘件表面形成凝露。工业区、矿区等特殊场景存在粉尘、腐蚀性气体,这类杂质持续附着在套管、绝缘子、绝缘隔板表面,形成污秽沉积层。污秽与水汽结合后会降低绝缘表面电阻,弱化介质耐压能力。季节温差变化会让绝缘材质反复热胀冷缩,加速表层老化开裂。长期持续的环境侵蚀会破坏绝缘结构完整性,催生爬电、闪络等异常现象,逐步诱发绝缘击穿、相间短路等高危故障。

3.3 触点接触不良与散热受阻诱因

设备发热类故障的核心诱因集中在接触工况异常与散热条件不足。断路器触头、母线搭接面、电缆接线端等载流部位,安装紧固力度不足或运行振动引发松动,会缩小有效接触面积。电网负荷波动产生的电流冲击,会让松动接触面反复发热氧化,生成高阻氧化层,进一步恶化接触状态。柜体通风孔堵塞、内部积尘过厚、散热通道被杂物遮挡,都会阻碍热量向外扩散。密闭空间内热量持续堆积,无法及时散出,会抬升柜体内部整体温度。高温环境持续作用,会放大接触电阻超标带来的发热问题,形成恶性循环,最终造成部件烧损、绝缘老化加速等故障。

3.4 线路接线与元器件老化诱因

二次回路故障多由接线缺陷与元器件自然老化引发。现场施工接线工艺不规范、端子压接不实、线缆排布受力牵拉,会造成线路虚接、松动。长期运行振动会加剧接线点位松动脱落,干扰信号传输与控制回路导通。二次系统继电器、保护器、传感器等电子元器件存在固定使用寿命。长期带电运行、电磁干扰、温湿度变化,会造成元件内部性能衰减、触点烧蚀、参数偏移。线缆绝缘皮层会出现脆化、开裂、脱落问题,引发漏电、信号干扰等状况。各类老化与接线问题会逐步瓦解二次系统的监测与保护能力,让设备失去可靠的故障防护屏障。

4 高压开关柜故障针对性检修对策

4.1 机械结构拆解检修与调校处理

机械结构故障的检修核心在于拆解排查、精准修复与参数复校,彻底解决机构卡涩、动作偏移、闭锁失效等问题。正式检修前,必须落实全套安全防护流程,切断设备电源并做好接地措施,规避高压作业安全风险^[4]。对断路器操作机构、传动连杆、锁扣组件、连接销轴及储能弹簧等核心机械构件逐步拆解,细致清理表面附着的灰尘、油污与锈蚀杂质。认真检查各类传动构件的磨损程度,更换出现形变、锈蚀、弹性衰减的弹簧与销轴,对轻微磨损的接触面进行打磨修复。清洁作业结束后,在全部摩擦传动点位涂抹适配的高压专用润滑油脂,提升构件运动灵活度。结合设备原厂技术标准,重新校准分合闸行程、操作力矩和限位间距,修正长期运行积累的参数偏差与安装误差。设备组装完成后,开展多次空载分合闸试验与闭锁功能测试,验证机构动作顺畅度与定位精度,从根本上解决机械动作异常问题,保障设备操作稳定性。

4.2 绝缘部位清理与补强处理

绝缘性能劣化的整改工作以深度清理、缺陷修复、性能补强为核心,全方位恢复柜体绝缘防护能力。检修过程中,全面排查绝缘子、绝缘套管、隔离隔板、母线护套等所有绝缘部件,仔细筛查表面积污、爬电痕迹、开裂起皮、老化破损等各类缺陷。采用无尘专用工具搭配绝缘清洗剂,彻底清除绝缘表层附着的导电污秽与油污杂质,杜绝残留杂质影响绝缘性能。针对存在轻微爬电痕迹、表层老化的绝缘构件,均匀涂刷高压绝缘防护涂层,增强表层耐压、抗污与防潮能力。出现开裂、破损、壁厚衰减严重的绝缘配件直接更换全新配件,杜绝缺陷构件持续运行。整改完毕后,开展工频耐压与泄漏电流检测,确保各项参数符合高压设备运行标准。日常运维中定期清理通风滤网,调控柜内温湿度,减少凝露积污对绝缘介质的侵蚀,长期维持绝缘系统稳定状态。

4.3 发热点位导通整改与散热优化

设备局部过热问题需从接触工况整改和散热环境优化双向落地,彻底切断发热恶性循环。依托红外测温手段精准定位母线搭接处、断路器触头、电缆接线端子等高温易发点位,精准锁定超标温升区域。对松动的连接螺栓、接线端子逐一规范紧固,按照行业标准控制紧固力度,扩大金属构件有效接触面积。打磨处理接触面存在的氧化层、烧蚀斑点,还原平整光滑的接触界面,降低接触电阻数值。烧蚀严重、形变无法修复的触头及

接线构件及时更换,规避电阻超标引发的持续发热。全面清理柜体通风孔、防尘网的堵塞杂物,疏通柜内散热风道。针对长期高负荷运行的柜体,可增设辅助散热装置,提升空气流通效率。所有整改工序完成后,开展带负荷测温复检,确保各点位温升稳定在合格区间,杜绝反复发热故障。

4.4 二次回路通断检测与线路修整

二次回路承担设备监测、保护与控制职能,回路失常会直接削弱设备安全防护能力。检修工作需覆盖线路、端子、元器件全维度排查整改。逐一梳理控制、信号、保护三类核心回路,紧固松动的接线端子,重新压接虚接、松动的线路接头。规整杂乱缠绕的线缆排布,调整线缆受力状态,规避拉扯、磨损引发的线路故障。替换表层开裂、绝缘老化、漏电隐患严重的二次线缆,保障线路绝缘性能达标。全面校验继电器、保护装置、采集传感器的运行状态,测试触点导通、信号采集、保护动作的实际工况,淘汰参数偏移、功能异常、触点烧蚀的老旧元件。整改完成后开展全回路通断测试与保护传动试验,验证遥控操作、故障告警、过载保护的响应精度。常态化开展回路巡检养护,及时处置细微隐患,持续保障二次系统运行稳定,为开关柜整体安全运行提供可靠支撑。

结束语

高压开关柜各类故障多由机械损耗、环境侵蚀、接触缺陷与元件老化累积形成,各类故障相互关联、易形成恶性循环,影响配电系统安全稳定。对应差异化的检修整改方案,可精准解决设备机械、绝缘、发热与二次回路的各类缺陷。常态化落实设备排查、部件养护与参数校准工作,能够持续优化设备运行状态,降低故障发生率,为高压配电网安全、可靠、长效运行提供坚实的设备保障。

参考文献

- [1] 严倚天,童谣,沈牧宙,等.高压开关柜典型故障分析与防范对策研究[J].科技创新与应用,2024,14(36):165-168,172.
- [2] 李德阁,冯英,李哲远,等.12kV高压开关柜烧损故障典型案例[J].电器工业,2025(12):39-44,65.
- [3] 靳生鹏.10kV开关柜出线电缆末端故障分析与防治对策[J].电气技术,2026,27(4):51-54.
- [4] 周文卫.地铁变电所0.4kV开关柜接地故障保护方案[J].城市轨道交通研究,2025,28(3):128-133.