变电运行中的事故分析及处理措施

李富忠　马小兵
内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司　内蒙古　阿拉善　750300

摘　要：本文聚焦变电运行安全管控核心问题，系统梳理一次设备、二次保护系统、人为操作及环境外力四类常见事故类型，深入剖析各类事故的诱发成因与故障机理。同时规范变电运行事故应急处置流程，细化各类典型事故专项处理方法，从设备运维、人员管理、制度建设、智能防控多维度，提出针对性事故防控优化措施，构建长效安全管理机制，为变电站安全稳定运行提供技术与管理支撑。

关键词：变电运行；事故分析；处理措施

引言：电力系统是社会经济发展的核心基础设施，变电站作为电力输配的关键枢纽，其运行稳定性直接关系电网供电可靠性与生产生活用电安全。当前变电运行过程中，设备老化、人员违章、环境干扰等多重因素易引发各类安全事故，造成停电损失与设备损坏。为有效防范运行风险、降低事故发生率，本文全面分析变电运行常见事故成因，梳理标准化应急处置方案，制定常态化防控措施，助力电网安全高效运维。

1 变电运行常见事故类型及成因分析

1.1 一次设备运行事故及成因

（1）变压器事故：常见表现为过热、异响、渗漏油及跳闸。过热多因长期过载、冷却失效或绕组短路；异响源于铁芯松动、磁路饱和或放电；渗漏油由密封老化、焊接缺陷引发，降低绝缘；跳闸多因外部短路、差动保护误动或本体故障，诱因包括绝缘老化、过电压及运维不当。（2）断路器事故：拒动、误动、发热及绝缘击穿为主。拒动常因机构卡涩、控制回路断线或辅助接点接触不良；误动源于二次干扰、分合闸线圈故障或保护误发命令；发热由触头接触电阻增大或接线松动所致；绝缘击穿与灭弧介质受潮、外绝缘爬距不足及操作过电压有关。（3）隔离开关与母线事故：接触不良致局部过热甚至烧熔；设备老化表现为操作卡滞、导电性能下降；外力破坏包括施工损伤、异物短路等。三类故障均可能导致母线失压，扩大停电范围[1]。

1.2 二次设备及保护系统事故及成因

（1）继电保护误动、拒动事故：误动常因定值整定不当、装置硬件故障或二次回路绝缘降低；拒动多由直流电源异常、CT/PT断线或出口中间继电器损坏引发。定值偏差、装置老化及回路接地是主要诱因。（2）测控装置、自动化系统失灵事故：表现为信号异常与数据传输故障。成因包括电源模块失效、通信接口松动、规约不匹配及电磁干扰，导致监控数据中断或误报。（3）故障录波、安稳装置失效：录波装置失效常因硬盘损坏或触发逻辑错误，安稳装置则可能因策略表过时、通道故障而拒动，隐患根源在于缺乏定期校验及系统升级滞后。

1.3 人为操作事故及管理成因

（1）误操作事故：包括误分误合断路器、误入带电间隔、误挂接地线等，多因违反操作票制度、模拟预演不严、监护缺失或防误闭锁装置失效造成。（2）运维疏漏：巡检不到位导致设备异常未能及时发现，隐患排查不彻底使缺陷持续恶化，台账管理不规范影响检修决策准确性。（3）人员能力不足：专业技能欠缺难以应对复杂故障，应急处置经验匮乏导致事故扩大，安全意识薄弱易引发违章行为，三者相互叠加显著提升运行风险。

1.4 环境与外力因素引发的事故

（1）恶劣天气影响：雷雨天气易引发雷电过电压击穿绝缘，大风导致导线舞动及异物短路，高温加剧设备发热及绝缘老化，冰冻造成导线覆冰过载及断路器操作机构冻结，均可能引发跳闸事故。（2）外力破坏：施工机械碰撞杆塔及设备、风筝线及塑料薄膜等异物搭接导线、动物入侵造成相间短路或接地，是常见的突发性事故诱因。（3）环境侵蚀：潮湿环境降低绝缘电阻，粉尘积聚易引起电晕放电，腐蚀性气体加速金属部件锈蚀及绝缘材料老化，长期作用导致设备绝缘性能逐步劣化，最终引发击穿故障。

2 变电运行事故应急处理流程与处置方法

2.1 事故处理总体原则与基本流程

（1）事故处理核心原则：坚持“安全优先、快速隔离、减少损失、杜绝次生事故”方针，始终将人身安全置于首位，在确保安全的前提下尽快恢复供电，严格防止事故扩大或衍生新的事故点。（2）事故预判与信息上报流程：事故发生后立即通过监控信号、保护动作信息

及现场现象进行初步判断，核对故障录波及告警信息，确认事故性质与范围；按规定时限将故障情况逐级上报调度及管理部门，报告内容包括事故时间、设备编号、保护动作情况、负荷损失及初步判断结论。（3）现场安全管控原则：严格执行停电、验电、接地、隔离的标准化操作程序；操作前核对设备双重名称与位置，装设临时接地线时先接接地端再接导体端，隔离故障点后悬挂标示牌及装设遮栏，确保抢修作业区域与带电设备保持足够安全距离[2]。

2.2 一次设备典型事故专项处置措施

（1）变压器故障处置：跳闸后立即检查保护动作信号及一次设备外观，重点查看瓦斯继电器、压力释放阀状态及喷油情况；过热故障应迅速转移负荷并投入备用冷却器，渗漏油故障须判断漏点位置，采取堵漏或补油措施，严重时申请停电隔离。（2）断路器故障处置：拒动时立即手动或远方紧急分闸，若仍无效则断开上一级断路器进行隔离；误动后应退出相关保护压板、检查控制回路，查明原因前不得重新合闸；设备发热严重时通过红外测温确认温度，降低负荷或转移运行方式，必要时申请停运检修。（3）母线、线路故障处置：根据保护动作及故障点指示快速判定故障位置，拉开故障母线或线路侧隔离开关进行隔离；通过倒闸操作转移负荷至备用母线或联络线路，按照调度指令逐步恢复非故障区域供电。

2.3 二次设备及保护事故处置措施

（1）继电保护异常处置：误动后退出该保护装置，进行带负荷校验及整组试验，检查定值区是否正确；拒动时重点检查直流电源、CT/PT二次回路及出口接点，复核定值与动作特性曲线；排查中发现异常及时更换插件或整机。（2）自动化系统故障处置：信号中断时检查通信链路、光电转换模块及交换机状态，数据异常则核对采集器采样值与现场实际值是否一致，重启或切换备用通道恢复系统运行，同步联系厂家进行远程诊断[3]。（3）二次回路故障排查：接线松动应紧固端子并测量接触电阻；绝缘破损用500V兆欧表摇测绝缘电阻，查找破损点并包扎或更换线缆；短路接地故障采用分段排查法，逐段解开回路测量对地电压，定位故障点后更换损坏元件。

2.4 人身及外力突发事故应急处置

（1）电气误操作事故的紧急止损与隐患整改流程：发生误操作后立即停止后续操作，果断断开误合设备并隔离故障点，第一时间汇报调度；事后组织专题分析，查明原因，完善防误闭锁逻辑，修订操作票并加强模拟预演培训。（2）外力破坏、恶劣天气事故的应急抢险与设备抢修方案：雷雨大风天气后立即组织特巡，重点检查绝缘子闪络、导线断股及避雷器动作情况；异物搭接时申请停电后使用绝缘杆清除；施工碰撞造成设备损坏时迅速隔离受损设备，启动备品更换程序，协调外委抢修力量连夜修复。（3）事故现场警戒、人员救护与现场保护处置规范：事故发生后立即在带电区域外围设置警戒带，疏散无关人员，严禁非抢修人员进入；触电伤员立即脱离电源，采用心肺复苏法进行急救并拨打120；同时保护事故现场原始状态，拍照记录设备位置、保护信号及损坏情况，配合调查组提取关键证据。

3 变电运行事故防控优化措施与长效管理机制

3.1 设备运维技术优化措施

（1）建立设备全生命周期管理体系，从设备选型、安装调试、运行维护、检修试验到退役报废实施全过程闭环管理，科学制定差异化检修策略，结合设备运行年限、健康状态、故障频次等信息编制滚动检修计划，同步完善定期检修与状态巡检相结合的运维制度，应用红外测温、超声波检测等不停电诊断手段，确保设备始终处于健康受控状态。（2）推广智能监测技术应用，在变压器、断路器、GIS等核心设备上部署局部放电在线监测、油色谱在线分析、无线测温及SF6气体压力监测等传感装置，构建统一数据采集与智能研判平台，设定多级告警阈值，利用大数据分析实现设备过热、绝缘劣化、机械卡滞等潜伏性隐患早期识别与实时预警，推动运维模式由计划检修向状态检修转变[4]。（3）加快推进老旧设备更新改造，对运行年限长、故障率高的断路器、隔离开关、老旧保护装置进行技术经济评估，制定分年度改造计划，优先更换为组合电器、智能断路器等高可靠性设备，同步升级保护及自动化系统软硬件，全面提升一次设备通流能力与二次设备抗干扰水平，有效降低设备本体故障概率。

3.2 人员安全管理与技能提升措施

（1）完善运维操作标准化制度体系，修订完善操作票、工作票管理细则，严格执行交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制，针对每项操作任务编制标准化作业指导卡，明确操作步骤、风险点及预控措施，推行操作前模拟预演与唱票复诵制度，从制度和流程层面堵塞违章漏洞，坚决杜绝误分误合、误入间隔等恶性误操作事件。（2）常态化开展专业技能培训与应急演练，制定年度培训计划，每月至少组织一次技术讲课与案例分析，每季度开展一次针对变压器故障、断路器拒动、母线失压、保护误动等典型事故的情景模拟实战演练，

借助数字化仿真培训系统进行沉浸式故障处置训练，重点提升运行人员故障性质判别、紧急倒闸操作及协同配合能力，确保关键时刻拉得出、顶得上。（3）建立科学的人员考核与责任追责机制，将安全指标纳入月度绩效考核核心权重，实行违章操作连带问责制度，对发生责任事故的个人和班组严肃追责、通报警示，同时设立安全积分与正向激励制度，对发现重大隐患、正确处置突发事件的人员给予表彰奖励，双向驱动全员从“被动遵章”向“主动履责”转变，持续筑牢安全思想防线。

3.3 安全管理制度与应急体系完善

（1）健全事故隐患常态化排查治理机制，制定年度隐患排查任务清单与排查标准，建立班组自查、专业巡查、专项督查三级排查体系，对排查发现的问题按照轻重缓急实行分类定级、动态管理，严格执行“登记建账—分析评估—限期整改—验收销号”全流程闭环管控，配套建立同类问题举一反三机制，杜绝同类型隐患重复发生。（2）优化变电运行应急预案体系，系统梳理各类潜在事故场景，修编完善变压器火灾、断路器爆炸、全站失压等专项应急预案，细化分级响应标准与具体操作步骤，绘制应急处置流程图和关键节点管控表，定期组织预案评审与桌面推演，确保预案内容与现场实际高度契合，做到面对复杂事故时指挥有序、操作精准、汇报规范[5]。（3）完善应急物资储备与调配机制，在枢纽变电站设置专用应急物资仓库，按定额足量储备抢修工器具、备品备件、绝缘防护用品及消防器材，建立物资电子台账并定期检查试验，确保物资始终处于可用状态，与设备厂家签订应急抢修技术支持协议，建立跨区域物资调配绿色通道，切实提升事故状态下快速响应与高效抢险能力。

3.4 环境风险防控与智能化安全管控

（1）针对性做好恶劣天气、外力破坏等外部风险预判与前置防控，主动对接气象、水利、市政施工等部门建立信息联动共享机制，提前获取雷电、大风、暴雨等极端天气预警，制定差异化防控策略，雷雨季节前完成防雷设施检测，大风来临前加固站内外飘浮物，高温期间加强设备测温特巡，将外部风险防控关口大幅前移。（2）应用电子围栏、智能视频识别、巡检机器人及无人机等智能化安防装备，构建变电站全域立体监控网络，实现入侵自动报警、作业违章行为抓拍、设备表计智能抄录、巡检路径自动规划等功能，显著提升变电站物防技防水平，有效弥补传统人工巡检的时空盲区，推动安全管控模式向可视化、智能化、实时化转型升级。（3）优化变电站周边环境综合治理，定期组织站外安全距离内杂草清理、漂浮物捡拾及违章建筑排查，重点针对邻近线路的施工工地、大型机械作业区等风险源建立专项管控台账，主动走访周边单位开展电力设施保护宣传，签订联防联保协议，建立外部隐患发现、报告、处置快速响应通道，将站外环境风险降至最低限度。

结束语

综上所述，变电运行事故诱因复杂、类型多样，设备故障、人为疏漏、环境影响均是核心风险点。科学高效的事故处置与常态化防控是保障电网稳定的关键。唯有结合技术优化、人员提质、制度完善与智能管控，全方位补齐运行安全短板，规范事故处置流程、筑牢风险防控防线，才能有效降低变电运行事故概率，提升电网抗风险能力，保障电力系统持续安全稳定运行。

参考文献

[1]彭肖,胡泽民.主变10kV侧绝缘损伤引发跳闸故障分析及处理[J].农村电气化,2025(12):41-44.

[2]章桢,庄严,陈浩,等.110kV主变低压侧后备自投动作异常故障分析与处理[J].农村电气化,2022(03):27-29.

[3]王国林,张帆,喻伟.220kV主变冷控失电保护误动事故分析及防范措施[J].农村电气化,2022(03):30-32.

[4]梁玉亮.极端天气下主变跳闸事故原因分析及运行处理措施[J].农村电气化,2024(12):106-108.

[5]吴浩.变电站继电保护异常事故分析及运行管控优化[J].电力设备管理,2024(18):112-114.