变电设备常见故障判断与检修方法

张 蕊 康伟伟 何志雨
呼和浩特供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：变电设备运行可靠性直接决定电网供电安全与电能质量。本文系统梳理变电设备核心覆盖范围，构建变压器、开关、绝缘、直流及二次回路的完整故障分类体系与判定逻辑，针对各典型设备提出基于运行参数、状态监测与现场表象的精准判断方法，并结合不同故障场景制定标准化检修方案与突发事故应急策略。最后从带电监测融合、安全过程管控及验收溯源三个维度构建故障全流程闭环管理机制，为变电精益化运维提供系统性技术参考。

关键词：变电设备；故障诊断；状态检修；电力运维；缺陷排查

引言：电网规模扩大与负荷密度提升使变电设备长期承受高电压、大电流及复杂环境应力叠加作用，绝缘劣化、机械磨损、接触不良及二次异常等故障呈多发态势。运维工作面临保安全可靠与降检修成本的双重压力，传统“到期必修”模式难以满足精益化管理要求。建立科学高效的故障判断与检修体系，实现从被动抢修向主动预防转变，已成为电力行业亟待解决的关键课题。本文立足一线运维实际，系统阐述变电设备故障判断与检修的全链条技术路径。

1 变电设备故障分类与基础判定逻辑

1.1 变电设备核心覆盖范围界定

变电设备种类繁多、功能各异，科学界定核心覆盖范围是故障管理的基础。一次系统包括电力变压器（主体变、厂用变及消弧线圈）、高压开关（SF6及真空断路器、隔离开关、接地开关）、母线及绝缘子、互感器、电力电容器及电抗器、避雷器；二次系统涵盖直流电源（蓄电池组、充电机）、继电保护及安全自动装置、测控通讯设备、操作及信号回路。电力电缆及其附件亦属管理范畴。合理界定范围有助于建立分层分类设备台账，为故障统计、规律分析和检修策略制定奠定基础，避免因管理边界模糊造成设备“真空地带”。

1.2 故障判断的通用基础原则

变电设备故障判断应遵循“由外及内、由表及里、动静结合、综合印证”原则。运维人员先通过巡视观察外观、声响、气味、温度等直观表象，快速筛选显性异常；再借助仪器读取电压、电流、压力、油位等运行参数，与历史数据和规程标准比对识别隐性异常。需区分三种状态：运行参数均在允许范围为正常，某项参数偏离但设备可短时运行为异常，设备已丧失规定功能或存在不可接受缺陷为故障[1]。最后应综合运用电气试验、油化分析、红外测温、局放检测等手段交叉印证，避免单一判断的误报风险。

2 典型变电设备常见故障与精准判断方法

2.1 变压器类常见故障判断

变压器故障类型复杂多样。绕组故障中，匝间短路表现为油中乙炔、氢气显著升高，轻瓦斯频繁动作，严重时差动保护跳闸；绕组变形源于外部短路冲击，可通过频响法（FRA）测试判断。铁芯多点接地特征为接地电流超过100mA，伴随局部过热和特征气体增加。绝缘受潮时介质损耗因数增大、绝缘电阻下降。有载分接开关故障时DGA中C2H2明显增长。精准判断应构建“在线DGA实时监测+离线色谱定期复核+局放定位+红外热成像辅助”的四维体系，实现缺陷早期发现、精确定位和性质判定。

2.2 高压断路器与隔离开关故障判断

SF6断路器常见故障包括气体泄漏（密度继电器频繁动作）、微水超标及操作机构卡涩（分合闸时间超标、不同期性增大），分别通过密度表读数、微水仪检测及机械特性测试判断。真空断路器重点关注真空度，用工频耐压试验和屏蔽罩颜色辅助判断。隔离开关问题集中于触头过热和操作卡滞——红外热成像显示触头温升，操作力矩异常和传动锈蚀是卡滞主因。应重视操作电源电压波动对合闸电磁铁的影响，低电压条件下动作试验是必要校验手段。

2.3 避雷器与绝缘子故障判断

避雷器阀片老化表现为阻性泄漏电流持续增大，当阻性电流三次谐波较初始值增长超50%时应安排停电检测，红外热成像可发现受潮引起的整体性发热。绝缘子故障以防污闪和脆断为主：污闪多发于雾霾、小雨天气，紫外成像仪可捕捉放电光子；瓷质绝缘子脆断前常有微小裂纹，可通过超声波探伤发现；复合绝缘子需关注伞裙老化、电蚀损及芯棒外露。定期开展盐密/灰密测

试和零值绝缘子检测是有效预防手段。

2.4 直流系统与二次回路故障判断

直流系统为继电保护、控制、信号回路提供可靠电源，其故障往往直接引发保护拒动或误动。蓄电池故障表现为单体电压严重不均、内阻异常增大或容量严重不足（低于额定80%），判断依据为核对性放电试验数据和在线内阻检测结果。充电机故障则体现为输出电压纹波系数超标、稳压精度不满足要求，可通过示波器测量纹波电压判断。二次回路故障主要包括：直流接地（正极或负极对地绝缘电阻下降），表现为绝缘监测装置频繁告警，需采用拉路法逐路排查；控制回路断线，导致断路器拒分拒合，通过测量操作回路电压和通断状态定位断点；以及端子排氧化接触不良，引发信号误报或拒报。对于复杂二次回路故障，应充分利用故障录波和保护装置自检信息进行综合逻辑分析[2]。

2.5 电缆与电容器故障判断

电缆绝缘击穿常由主绝缘受潮、电树枝老化或过电压冲击引起，通过绝缘电阻测试、直流耐压泄漏电流及局放检测判断；中间接头过热可用红外测温发现，按DL/T 664标准，相对温差 ≥ 80%或热点温度超过90℃时应安排处理。精确定位采用行波反射法（TDR）计算故障点距离。电容器故障包括介质损耗增大、内部元件击穿（不平衡电流增大）及渗漏油。重点监测三相电流不平衡度，当超过额定电流5%时应即退出运行，测量单台电容值并更换不合格品。

3 不同场景下的标准化检修实施方法

3.1 变压器故障针对性检修方案

变压器检修方案应根据故障诊断结论“对症下药”。对绕组变形类故障：若变形轻微，可采取压紧装置调整和增加轴向支撑的措施；若变形严重（幅值变化超过规程限值），则需吊罩检修或返厂更换绕组。对铁芯多点接地故障：先尝试在铁芯外引接地回路中串接限流电阻，若无效则需吊罩检查，清除接地异物或修复绝缘损伤点。对有载分接开关故障：应吊出切换芯体检查，更换烧蚀触头和失效过渡电阻，清洗绝缘筒并重新调整切换时序。对绝缘受潮故障：采用热油循环或真空滤油方式脱除水分，同时更换吸附剂，直至绝缘电阻和介质损耗恢复合格。每项检修作业均应编制专项施工方案，明确安全措施、工艺标准和质量验收点，确保检修一次到位。

3.2 开关类设备规范化检修流程

开关类设备检修应严格执行标准化作业流程。断路器检修程序为：①办理停电手续，做好隔离措施并验电接地；②对SF6断路器进行气体回收（经回收装置处理，严禁直接排放）；③解体操作机构，清洗传动部件，更换老化密封圈和磨损件；④检查灭弧室触头烧蚀情况，测量触头行程和超程；⑤更换吸附剂，抽真空并充注新SF6气体至额定压力，静置24小时后检测微水含量；⑥进行机械特性测试和回路电阻测量；⑦进行工频耐压试验验证绝缘性能；⑧恢复送电并监测运行数据。隔离开关检修重点为触头修磨（去除氧化层、涂抹导电脂）、触指压力调整以及传动连杆的润滑和防锈处理。检修后应进行不少于5次的分合闸操作试验，确认动作灵活、位置指示准确。

3.3 绝缘类设备隐患检修优化措施

绝缘类设备隐患处理应以“早发现、小处理、防扩大”为原则。避雷器阻性电流超标但仍在安全裕度内时，可采取带电清洗外绝缘表面和加强通风散热作为临时措施，待停电窗口更换阀组。若已接近热崩溃临界值（阻性电流增长超过初始值一倍），必须立即安排紧急更换。绝缘子防污处理应结合停电检修开展带电水冲洗或涂抹防污闪涂料（RTV），根据盐密/灰密测试结果制定差异化清扫周期。对已发现的绝缘子微小裂纹，应采用环氧树脂胶修补后加强跟踪，若裂纹延伸至芯棒则应果断更换。值得强调的是，绝缘类设备检修应推行“逢停必扫、扫必达标”的管理要求，将绝缘维护融入每一次停电机会中，通过小修频次优化有效延长设备大修间隔周期。

3.4 二次系统故障闭环检修方法

二次系统故障检修具有逻辑性强、隐蔽性高的特点，应采用闭环管理方法。当保护装置发出异常告警时，首先读取装置自检信息和故障报文，初步判断故障性质。对直流接地故障，采用“拉路法”逐级排查，按照“先信号回路、后操作回路、再保护电源”的顺序，拉路前通知相关运行岗位并做好防误动措施。对控制回路断线故障，利用万用表分段测量电压，依据回路原理图逆向追踪，锁定断点（通常为辅助触点接触不良或线圈烧毁）。检修完成后，必须开展传动试验—— 模拟各种故障类型，验证保护动作出口的正确性和信号上传的完整性。所有二次检修工作应执行“一张图纸、一份方案、一套记录”的标准化要求，修改定值或回路接线后须经第二人复核并更新台账，实现缺陷发现、处理、验收、归档的全过程闭环。

3.5 突发全站停电类故障应急检修策略

全站停电是变电运行中最为严重的突发事件，多源于母线故障、主变差动范围内故障或直流全失。应急检

修策略应遵循“保安全、快隔离、准判断、优恢复”原则。第一优先级为启动应急响应机制，人员分组到位，备品备件和抢修工器具装车待命。第二，通过故障录波、保护动作信息和现场巡视快速隔离故障点，切除故障设备，建立安全作业区[3]。第三，在确保安全前提下，优先恢复非故障区域的供电——采用"分段试送"方式逐条恢复馈线，通过联络线从相邻变电站恢复供电。第四，对故障设备进行紧急抢修，视损坏程度确定是现场修复还是更换备用相。应急检修应注重“安全第一”，严禁冒险作业和条件不具备时强行送电。事后应及时编写应急抢修报告，将故障根因分析、抢修过程、经验教训纳入事故档案，为完善应急预案提供依据。

4 故障全流程管控的关键保障机制

4.1 带电检测与在线监测融合机制

带电检测与在线监测的有效融合是实现设备状态全景感知的技术基础。带电检测以人工周期性巡检为主，包括红外热成像、超声波局放检测、高频电流局放检测、SF6气体检漏及接地电流测量，侧重于获取设备当前断面的详细状态数据。在线监测则依托固定安装的传感器连续采集油色谱、局部放电、温度、压力等关键参数，实现设备状态的实时跟踪。融合机制的核心在于数据互通与协同分析：带电检测发现异常后，立即调取该设备近期在线监测数据趋势，验证异常真实性；在线监测数据突变时，迅速安排带电检测精确定位。两者形成“在线监测广覆盖连续跟踪+带电检测深诊断精准定位”的互补格局，有效解决单方法诊断信息不足或误报率偏高的问题。

4.2 检修作业全过程安全管控要点

安全是检修工作的生命线。全过程安全管控应贯穿作业前、作业中、作业后三个阶段。作业前：严格开展现场勘查，辨识危险源并制定风险预控措施票；履行工作票许可手续，确认停电、验电、挂地线等安全措施执行到位；召开班前会进行安全交底和技术交底，确保每位作业人员清楚工作任务、危险点和防控措施。作业中：设置专职安全监护人，全程监督作业行为；严格执行“停电、验电、接地、挂牌、装设围栏”五步法；涉及高处作业、起重作业、有限空间等危险工序时，执行专项安全方案。作业后：全面清理现场，核对工具材料无遗漏；拆除安全措施应逐项确认并记录；召开班后会总结安全执行情况。凡涉及多班组交叉作业的，须指定总协调人，统一指挥，杜绝因沟通不畅引发的安全事件[4]。

4.3 检修后验收与溯源管理体系

检修质量最终通过验收环节得以确认，验收应分层级执行：班组级验收侧重工艺细节和试验数据达标情况；车间级验收侧重整体功能恢复和运行参数正常；若为大修或技改项目，应组织专业管理部门参与最终验收。验收内容包括但不限于检修项目完成度、试验报告完整性和数据合格判定、外观质量检查、保护传动正确性及设备标识恢复等。溯源管理则要求每一台设备的检修记录、试验数据、更换零部件清单及验收结论均纳入设备全寿命周期管理档案，确保“一设备一台账”。当设备再次出现同类故障时，可快速调阅历史检修记录，对比分析故障演化规律，为优化检修策略提供数据支撑。同时，应建立缺陷统计分析数据库，定期生成缺陷分布图谱，识别家族性缺陷和重复性故障，指导后续检修重点方向的调整。

结束语

变电设备故障判断与检修是一项理论与实践紧密结合的系统性工作。本文从设备分类和基础判定逻辑出发，系统梳理了变压器、开关、绝缘、二次系统及电缆电容器等典型设备的故障特征与判断方法，并结合不同故障场景提出了针对性的标准化检修实施方案和应急策略。面对电网规模持续扩大和可靠性要求不断提高的现实，变电检修工作应进一步向数字化、智能化方向迈进，深化状态检修理念，充分运用大数据分析、人工智能辅助诊断等新技术手段，持续提升设备健康管理水平，为电力系统的安全、稳定、经济运行构筑坚实基础。

参考文献

[1]代会文,王国翰,谷天一,等.变电站一次检修中的设备故障诊断研究[J].电力设备管理,2026(7):17-19.

[2]张建伍,杨建. NFC技术在变电一次设备故障预测中的应用[J].通信电源技术,2026,43(11):246-248.

[3]张恩溥,张静.变电站高压电气试验设备故障运行状态检测技术研究[J].电气技术与经济,2026(6):380-383.

[4]范敬毅.基于大数据分析的变电设备故障预测与运维策略研究[J].流体测量与控制,2026,7(2):66-68.