

智能变电站变电运维与设备维护措施

焦 艳 王 辉

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

摘 要:智能变电站是智能电网的核心枢纽环节,其设备构成、信息架构和运行模式较传统变电站发生了根本性变化,对运维工作提出了更高要求。本文立足智能变电站的技术特征与运维需求,系统分析了智能变电站的整体架构与设备体系构成,梳理了智能化设备运行的新特征及其对运维模式的影响。从远程在线监控、机器人协同巡检、智能倒闸操作及应急处置四个维度构建了标准化日常运维工作体系,围绕主变压器、气体绝缘设备、高压开关及传感避雷器等核心设备制定了专项维护方案,并针对智能终端、通信网络及辅控系统提出了配套维护办法,为智能变电站安全稳定运行提供全面的运维技术支撑。

关键词:智能变电站;变电运维;状态检修;设备维护

引言:智能变电站作为智能电网的核心枢纽环节,其设备构成、信息架构和运行模式较传统变电站发生了根本性变化。智能化设备的广泛应用使运维对象从单一的一次设备扩展为一次设备、二次设备与通信网络并重的复杂系统,信息采集的全面性和实时性大幅提升,设备自诊断功能和运维辅助决策能力不断增强,对运维工作的技术深度和响应速度提出了更高要求。如何在设备智能化程度提升的背景下,建立适应智能变电站运行特征的运维与维护体系,已成为当前变电运维工作面临的核心课题。本文从智能变电站的架构特征入手,系统分析其运维新特点,构建涵盖日常运维、专项维护与配套管理的完整措施体系,为智能变电站运维工作提供参考。

1 智能变电站架构与运维特点

1.1 全站整体设备体系构成

智能变电站设备体系按照功能层次可划分为一次设备层、二次设备层和辅助系统层三个层级。一次设备层主要包括电力变压器、气体绝缘组合电器、高压断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器及避雷器等核心主设备,承担电能传输、变换与分配的主体功能。二次设备层按照 IEC 61850 标准划分为过程层、间隔层和站控层,包括电子式互感器、合并单元、智能终端、继电保护装置、测控装置、交换机、监控主机及远动通信管理机等,承担全站信息采集、传输、处理与控制职能。辅助系统层包括站用交直流电源系统、环境监测系统、安防消防系统及视频监控系统等,为主设备运行提供配套保障条件。三层设备通过高速网络紧密关联,共同构

成智能变电站完整的功能体系^[1]。

1.2 智能化设备运行与运维新特征

与传统变电站相比,智能变电站的设备运行与运维呈现出以下新特征。设备形态上,电子式互感器、智能终端等数字化设备替代了传统电磁式互感器和电缆硬接线,光纤取代大量控制电缆成为主要信号传输介质,设备集成度和信息密度显著提升。运行模式上,一二次设备状态信息通过传感网络实现全面采集和远程实时监视,设备自诊断功能可自动识别异常状态并发出预警,运维人员对设备运行工况的掌握从周期性巡检转变为实时在线感知。运维方式上,传统以现场人工巡检和定期检修为主的模式逐步向远程监控、状态检修和智能诊断方向转变,对运维人员的专业技能构成提出了更高的要求。

2 智能变电站标准化日常运维工作

2.1 远程在线实时监控运维流程

远程在线实时监控是智能变电站日常运维的基础手段。运维人员通过监控后台对全站一二次设备实施不间断监视,重点关注主变压器绕组温度、油位及负荷情况,气体绝缘设备的 SF₆ 气体压力和密度变化,开关设备的位置状态,二次设备的自检信息及网络通信状态等核心参数。监控系统设置分级告警阈值,当监测参数超限或设备发出异常信号时,系统自动推出告警窗口并记录事件。运维人员接警后,首先通过远程手段进行初步诊断,调阅相关设备的详细运行数据和历史趋势曲线,综合判断异常性质。对可通过远程处理的简单异常直接在监控端完成处置,对需现场处理的故障则按照应急处

置流程派发工单并跟踪处理进度。

2.2 机器人协同人工一体化巡检模式

机器人协同人工一体化巡检是智能变电站现场巡检的核心模式。巡检机器人按照设定周期和路径自主完成设备外观检查、红外测温、仪表读数和 SF6 密度计读数识别、隔离开关分合位置判别等标准化巡检项目,数据实时上传至运维管理平台。运维人员按照月度和季度计划执行人工巡检,重点核对机器人的巡检结果,对机器人报告中标记的可疑点进行现场复测确认,同时对机器人难以覆盖的区域进行补充检查^[2]。人工巡检与机器人数据交叉验证,形成“智能设备初筛、人工复核确认”的标准化协同流程,有效提升巡检覆盖率和缺陷发现率。

2.3 智能倒闸操作与五防安全管控手段

倒闸操作是变电运维的关键作业环节,智能变电站利用一键顺控技术实现操作票的自动生成与逐项执行,替代传统人工操作模式。运维人员在监控后台调用预设的操作序列,由系统按照五防逻辑自动校验当前设备状态并逐项执行操作步骤,每一步执行后自动确认设备到位状态,遇异常时自动暂停并告警,大幅缩短停电操作时间并降低误操作风险。五防安全管控涵盖防止误分合断路器、防止带负荷分合隔离开关、防止带电挂接地线、防止带地线合闸及防止误入带电间隔五项核心防误功能,通过电气闭锁、机械闭锁及软件逻辑闭锁三重防护手段,确保倒闸操作全过程安全受控。

2.4 设备缺陷与突发故障应急处置流程

设备缺陷与突发故障应急处置实行分级管理,按照缺陷严重程度分为紧急、重大、一般三个等级。运维人员接到告警信息后,根据告警级别启动相应响应程序,紧急缺陷立即组织人员赶赴现场并汇报调度,重大缺陷在限定时间内完成处置,一般缺陷纳入月度消缺计划。应急处置流程涵盖故障研判、隔离操作、抢修实施和恢复送电四个阶段,各阶段均有标准化操作指引。故障处理完成后需编制详细的处置报告,记录故障现象、原因分析、处理过程和防范措施,并纳入设备缺陷管理数据库,为同类故障的快速处置积累经验。

3 站内核心设备专项维护方案

3.1 主变设备日常管护与状态监测措施

主变压器是变电站的核心设备,其日常管护以运行状态监测和预防性维护为重点。运行人员每班通过监控系统检查主变负荷、顶层油温、绕组热点温度及冷却器运行状态,确保运行参数不越限。状态监测涵盖油中溶

解气体在线色谱分析、局部放电在线监测、铁芯接地电流测量及绕组变形频响法等技术手段,通过持续跟踪关键特征量的变化趋势,及早发现绝缘老化、过热故障及机械变形等潜在问题。日常维护工作包括冷却器定期清扫、呼吸器硅胶检查更换、本体及套管外观检查、油位计及温度计校验等,各项维护作业严格按周期执行并规范记录,确保主变长期安全稳定运行。

3.2 气体绝缘设备气密性、局部放电维护要点

气体绝缘组合电器的维护以气密性管理和绝缘状态监测为核心。气密性维护主要包括每日检查 SF6 气体密度继电器读数,记录气压随环境温度的变化趋势,当气压下降超过允许值时使用高灵敏度检漏仪精确定位泄漏点并及时处理。局部放电监测采用超高频法或超声波法对 GIS 设备内部实施定期检测,捕捉绝缘缺陷激发的放电信号,通过信号幅值、相位特征及频谱分布判断缺陷类型与严重程度。日常巡视还需关注操作机构动作状态、分合闸指示位置及外部连接部位发热情况,发现异常及时安排停电检查^[3]。

3.3 高压开关机械性能与绝缘定期养护方案

高压开关设备的维护聚焦于机械操作性能和绝缘性能两大核心指标。机械性能维护包括定期进行分合闸操作试验,监测分合闸线圈电流波形、断路器行程-时间特性曲线及动作电压等参数,据此评估操作机构状态是否正常。绝缘性能维护包括断路器断口及对地绝缘电阻测量、真空灭弧室真空度检测及 SF6 断路器微水含量分析等内容。日常维护还涉及触头磨损检查、传动机构润滑、紧固件防松检查及外绝缘防污闪处理等。各项维护项目按照运行规程规定的周期执行,维护记录完整归档。

3.4 传感、避雷设备周期性检测维护要求

各类状态传感器与过电压避雷器,是保障全站设备状态精准感知、雷电与操作过电压可靠防护的关键核心组件,其运行状态直接影响变电站的故障预警与防雷安全水平。常规电磁式电流、电压互感器需按周期开展比差角差精度校验、一二次回路绝缘电阻测量,排查绝缘老化、精度漂移等隐患;针对电子式互感器,额外增加合并单元输出采样值连续性核查、光纤链路光功率裕度检测、同步对时状态偏差校验等专项内容,确保数字化测量数据精准可靠。避雷器维护以在线监测数据跟踪为核心,运维人员每季度通过在线监测系统读取避雷器全泄漏电流与阻性电流数据,重点分析阻性电流基波分量的长期变化趋势,精准判断内部阀片是否出现受潮、老

化等劣化迹象,提前处置爆炸风险。所有周期性检测维护数据单独建立专项设备健康档案,通过不同周期数据的纵向历史比对,精准评估设备状态的长期演变趋势,为差异化运维决策提供量化依据。

4 智能配套系统与辅助设施维护办法

4.1 智能传感终端、保护测控装置校验维护

智能传感终端和保护测控装置是智能变电站实现精准信息采集与可靠决策执行的核心环节,其运行稳定性直接决定全站保护动作的准确性。传感终端的日常维护重点是定期排查合并单元、智能终端的全维度工作状态,逐一核对装置面板运行指示灯的显示逻辑,检查所有外接光纤接头的锁紧度与防尘状态,持续监测装置工作电源的电压波动范围、内部核心模块的运行温度,同时通过后台运维系统全量调取装置的历史自检日志,排查隐藏的偶发异常告警记录,提前处置隐性故障。保护测控装置的维护覆盖定值核对、软件版本全生命周期管理、保护功能定期校验等核心内容,定值核对按季度或停电检修前后刚性执行,逐行比对装置内存值与正式批复的定值单,确保两者完全一致。涉及装置配置文件修改的作业必须严格执行双人复核制度,操作人完成修改后由监护人员二次校验确认,修改结束后开展针对性的模拟动作验证,确认保护动作逻辑完全正确后方可投入正式运行。

4.2 站内通信、对时网络设备运维要点

站内通信与对时网络是智能变电站实现全量信息交互的传输通道与统一时间基准,其运行可靠性直接影响全站二次系统的协同工作能力。通信设备的日常运维重点包括交换机端口实时状态监测、全网数据流量统计分析、端口丢包率阈值校验及网络风暴防护功能的定期触发验证,运维人员依托专用网管系统每周巡检所有端口的运行参数,发现异常流量突增、错误帧累计计数超标时第一时间定位故障节点排查处置。光纤链路的维护以定期光功率测试和接头端面清洁为核心,使用高精度光功率计逐段测量链路收发端的光功率值,预留足够的光功率裕度满足长期运行需求,发现链路衰减超标时优先清洁光纤连接器端面,必要时更换老化尾纤恢复传输性能^[4]。对时网络的维护需每季度校验全站北斗+GPS双源时钟同步系统的输出精度,逐一核对所有接入装置的对时状态,确保保护、测控、故障录波等核心设备的对时误差完全控制在规程允许的1微秒范围内,避免因时间不同步引发的采样错位、动作逻辑混乱问题。

4.3 环境、安防、消防一体化辅控设备管护

站内环境、安防与消防一体化辅控设备是支撑变电站无人值守、保障全站安全稳定运行的关键配套系统,其管护质量直接决定极端工况下的应急处置能力。环境监测类设备包含柜内温湿度传感器、电缆沟水浸探测器、户外风速风向仪及配电室SF₆泄漏监测装置,运维人员每两个月对所有传感器进行精度校验,检查设备安装固定的牢固性、信号传输回路的连通性,确保采集的环境数据实时准确上传至辅控运维平台,不会出现数据断传、数值偏差的问题。安防类设备覆盖周界电子围栏、全站门禁系统及无死角视频监控摄像头,每月检查电子围栏的脉冲输出电压是否达标、门禁读卡器识别灵敏度与电磁锁动作可靠性,每季度抽检所有监控摄像头的画面清晰度与录像存储完整性,排查视频盲区与存储过期风险。消防系统包含火灾报警控制器、全区域感烟感温探测器及配套自动灭火装置,每月巡检报警控制器的全量自检状态与探测器在线率,每季度抽样检测探测器的报警触发灵敏度,每年联合第三方消防专业机构完成全系统合规性检测,确保所有消防设备24小时处于随时可用的热备状态。

结束语

智能变电站的设备构成与运行模式较传统变电站发生了根本性变化,其变电运维与设备维护工作必须适应设备智能化、信息化和状态感知实时化的新要求。本文从智能变电站的架构特征出发,系统分析了智能化设备的运行新特征及其对运维工作的影响,构建了涵盖远程在线监控、机器人协同巡检、智能倒闸操作及应急处置的标准化日常运维体系,围绕主变压器、气体绝缘设备、高压开关及传感避雷器等核心设备制定专项维护方案,并针对智能终端、通信网络及辅控系统提出了配套维护措施。

参考文献

- [1] 李哲斐,郑凯.智能变电站变电运维与设备维护措施[J].光源与照明,2025(12):93-95.
- [2] 马树敏.智能变电站运维安全和设备维护水平的提升措施[J].电子元器件与信息技术,2023,7(12):67-70.
- [3] 刘朋.智能变电站变电运维安全与设备维护分析[J].模型世界,2024(36):45-47.
- [4] 尤彬彬.智能变电站的运维安全与设备维护策略分析[J].集成电路应用,2023,40(12):182-183.