

[智能巡检]

500 kV变电站立体化巡检应用

文/沙俊民 李月青 黄秀娟 潘成程 王周杰
国网浙江省电力有限公司超高压分公司

结合传统运检工作方式，辅助以先进的机器人技术与在线监测、带电检测项目，立体化创新技术与管理方法，将现场运维人员主观能动性先进的技能与管理手段、巡检方法有机结合，从而达到提高输变电设备状态巡检管理水平的目的，获得最佳的巡检效果，实现对现场安全工作质量的有效控制，以获得最佳安全与经济运行效益。

500 kV妙西变电站安装2#、3#主变压器各1 000 MV·A，500 kV出线分别至特高压安吉变2回、含山变2回及长龙山2回，220 kV出线12回。500 kV采用1个半开关接线，220 kV采用双母线双分段接线。500 kV、220 kV为室外GIS组合电器，35 kV为常规AIS设备。妙西变电站为无人值守二类变电站。

按传统的常规巡检模式对变电站进行管理，会造成漏检、巡检不到位。巡检到位率与巡检质量存在的难题主要表现在以下几个方面：新技术的使用与无人值守的推进带来的巡检到位率与巡检质量问题日益突出；巡查巡视人员责任心不强，导致巡检不到位；运维人员针对易出现故障的重要设备缺乏有效的检测跟踪手段；运维人员技能与经验水平参差不齐，巡检质量不一致等。

本文从常规人工巡检、智能巡检平台应用及运维人员开展的运维一体化检测项目来阐述立体化巡检技术与管理模式应用，以规范全面的作业手段，全面提高巡检作业的效率与覆盖面。避免因巡检不到位或漏检带来的设备事故。

变电站常规人工巡检

1. 变电站设备巡视

变电站运维人员进行的设备巡视分为例行巡视、全面巡视、熄灯巡视和特殊巡视，各类巡视需做好相关记录。

1) 例行巡视。除按照有关要求执行外，还包括对站内设备及设施外观、异常声响、设备渗漏、监控系统、二次装置及辅助设施异常告警、消防安防系统完好性、变电站运行环境、缺陷和隐患跟踪检查等方面的常规性巡查，无人值守二类变电站例行巡视周期每3天不少于一次。

2) 全面巡视。在例行巡视项目基础上，对站内设备开启箱门检查，记录设备运行数据，检查设备污秽情况，检查防火、防小动物及防误闭锁等有无漏洞，检查接地引下线是否完好，检查变电站设备厂房等方面的详细巡查。全面巡视和例行巡视可一并进行。无人值守二类变电站全面巡视周期每15天不少于一次。

3) 熄灯巡视。夜间熄灯开展的巡视，重点检查设备有无电晕、放电及接头有无过热现象。巡视周期每月不少于一次。

4) 特殊巡视。因设备运行环境、方式变化而开展的巡视。遇有以下情况，应进行特殊巡视：大风前后；雷雨后；冰雪、冰雹后及雾霾过程中；新设备投入运行后；设备经过检修、改造或长期停运后；重新投入系统运行后；设备缺陷有发展时；设备发生过载或负载剧增、超温、发热、系统冲击及跳闸等异常情况；法定节假日、上级通知有重要保供电任务时；电网供电可靠性下降或存在发生较大电网事故（事件）风险时段。

2. 变电设备红外测温

变电设备红外测温分为正常红外测温、发热点跟踪测温 and 电网风险及特殊保电时期红外测温。

1) 正常红外测温。运维人员开展的红外测温周期为500 (330) kV级以上变电站每两周一次, 高峰负荷时进行。主要针对长期大负荷设备, 设备负荷有明显增大或设备存在明显异常、发热时, 需进行进一步跟踪分析。

2) 发热点跟踪测温。在发现输变电设备存在发热缺陷时, 根据检测温度、负荷电流、环境温度及气候变化等进行的发热温度的比对工作, 分析输变电设备发热温度的变化, 确定设备发热缺陷性质, 根据严重程度决定跟踪周期。一般有人变电站每日测温一次, 无人值守变电站每个例行巡视周期测温一次。发热严重时增加测温频次。

3) 电网风险及特殊保电时期红外测温。针对保电设备进行的全面测温、重点测温及发热点跟踪记录。全面记录测温数据, 主要包含保电间隔负荷电流大小、测温时间、天气情况、环境温度及该间隔内有无异常发热点、测温温度最高点位置等。

3. 人工巡检有效性分析

运维人员进行的常规人工巡检, 对输变电设备进行的简单感官定性判断, 主要通过看、听、嗅及触摸等去实现。能够发现设备外部可见、可听等缺陷, 例如: SF₆压力、外观有无明显异常, 油位、渗漏油; 外部损失、锈蚀、冒烟、异味、异响、二次设备及监控系统异常信号等。

由于缺乏专业的检测仪器、仪器精度过低或受限于传统的运维开展项目, 对于设备内部缓慢发展的内部缺陷, 以往的巡检项目是不能发现的。

另一方面, 由于500 kV电网的不断发展, 无人值班变电站增多, 运维半径持续扩大, 在特殊天气及交通异常状况下, 对于运维人员往往不能及时赶往现场。综上所述, 常规巡检模式存在及时性、可靠性及巡视效率与质量不可控等问题。

智能巡检平台应用

1. 室外与室内机器人

500 kV妙西变电站配备室外巡检机器人与室内轨道机器人具有人工巡视的灵活性、智能性, 弥补了人工巡视存在的一些缺陷和不足。

变电站巡检机器人的整体结构主要包括基站、移动定位控制系统、可见光图像摄像机及红外热成像仪等组成的输变电设备检测系统。

巡检系统包括按预定周期自主巡视及人工遥控巡视。自主巡视包括例行与特殊巡视两种方式, 并支持自主巡视与人工遥控巡检模式的切换, 当接收到人工遥控巡检任务命令时, 能够立即停止正在执行的巡检任务, 自动寻找最短路径, 到达巡检地点进行巡视。

巡检任务包含可见光与红外测温两种模式。可见光巡视与红外测温任务开展过程中巡检后台能够实时采集现场设备可见光与红外成像照片, 巡检机器人能够按照巡检任务与预设巡检点位开展巡视, 如SF₆压力抄录, 一次设备位置检查, 避雷器泄漏电流值抄录, 一、二次红外精确测温, 充油设备油位油温等, 巡检完成后生成巡检报告。报告包括巡检点位执行情况、异常数据告警、巡检数据统计分析及历史数据对比等, 并生成具备导出功能的Excel表格。运维人员定期抄录并与系统导出数据进行比对, 验证系统平台数据的有效性。

目前, 该变电站已通过智能巡检机器人红外检测单轨制运行验收, 基本取代运维人员完成日常设备红外检测工作, 提高了运维人员工作效率和质量。

2. 变电站辅助在线监测系统

妙西变电站辅助控制监控平台集成了变压器、GIS、避雷器及环境监测等多项设备状态监测单元, 实时采集各种运行数据, 实现对变电设备的综合数据分析与诊断, 一旦发现异常数据可以及时进行纵向与横向比较, 通过多种辅助手段诊断故障的类型与状态。从而发出准确的预警信息, 为设备的运行状态提供数据支持。

1) 变压器油色谱在线监测单元。采用色谱分析原理, 同时采用脱气原理与桥流检测器实现对变压器油中溶解气体全组分检测。集成色谱分析、诊断、自动定时检测及通信技术于一体, 通过对变压器油中溶解气体的检测分析和趋势对比, 实现对变压器内部运行状态的在线监控, 能够及时发现、诊断并预警其内部故障状态, 弥补人工取油色谱分析监测周期长不足, 为变压器安全稳定运行提供技术支撑。

2) GIS气室压力在线监测单元。主要应用于220 kV间隔开关、母线等气室SF₆气体压力在线监测, 通过通信方式将数据上传辅控系统2.0。该监测

单元对GIS气室SF₆气体的压力进行实时数据采集、数据远传、故障报警及后台数据显示与分析，为GIS设备运行状态与人工数据抄录提供数据及比对。

3. 工业视屏智能化巡检

该变电站2019年完成工业视屏改造，配置工业级全高清摄像机，并通过综合应用服务器接入统一视屏平台。为了能有效监视输变电设备运行状况，及时发现设备隐患，运维人员除例行巡视外，还补充工业视屏巡视项目。

通过省公司统一视频平台图像管理功能，主站运维人员进行智能巡视，完成无人值守变电站设备外观、运行状态、开关储能指示及GIS气室压力等图像实时显示、监控及存储等功能。结合设备的遥控操作等功能，运维人员在主站对无人值班变电站设备状态改变时，可以通过智能巡检系统确认设备的状态转换。在设备发生故障时，通过对摄像头的控制，近距离观察设备故障现象，准确判断故障原因，缩短故障处理时间，保障人身安全。

4. 智能巡检平台应用的优势与不足

通过智能巡检平台的开发应用，运维管理模式的转变，通过可视化技术展示输变电设备运行状态与技术指标，实现变电站全景监视、智能互动、状态评估及风险分析的一体化智能变电站巡检管理体系。从而达到减轻运维人员劳动强度与改善劳动环境的目的。但是由于技术问题会导致被巡检目标和待巡检项目覆盖面降低，有时无法做到全面巡检。

另一方面，智能巡检平台的仪器设备质量问题会增加运维人员的维护工作量。

带电检测运维一体项目的开展

随着设备主人制度的深化实施，公司正在打造生产核心专业队伍，以提高运维人员状态感知、缺陷发现、主动预警、设备管控及应急处置五种能力为目标，促进运维人员向“设备主人、全科医生”转型。

1. 带电检测的意义

带电检测是指在设备带电运行的条件下，对设备状态量进行现场检测，以设备存在缺陷时产生的“声、光、电、磁、热”等异常现象为突破口，重点检测超声波、电磁波和发热等参数。

根据先进的带电检测、状态监测和诊断技术提

供的设备状态信息，能够及时开展输变电设备健康状态评价，判断设备异常，通过专业的试验仪器、仪表对待检测设备进行试验，可以发现运行输变电设备存在的潜伏性或缓慢发展的故障。

2. 运维一体化项目深入开展

作为“运检一体化”的先行者，该运维班通过培训、学习和取证已逐步开展GIS气室SF₆气体分解物检测、避雷器阻性电流测试、充油设备取油样及GIS气室带电补气检漏等运维一体化项目。进一步夯实运维专业基本功，在提升传统运维业务规范化基础上，积极拓展新业务，后续将继续推进油气色谱分析、开关柜局部放电检测、GIS特高频与超声波局部放电检测等检测试验类业务实施，提高异常故障处置效率，主动学习运维新技能。

带电检测等试验类项目的开展，是发现输变电设备潜在故障的重要手段之一，利用带电检测技术能够获取设备状态量，评估设备状态，超前防范事故隐患，保证供电可靠性，降低事故损失，提高工作效率。

3. 带电检测项目开展的优与劣

采用输变电设备带电检测可以发现设备停电时无法检测的设备状态量，不受停电计划的影响，可以根据设备运行状态灵活安排检测周期，便于及时发现设备隐患，掌握隐患发展变化趋势。可以弥补常规巡视的不足，获取人眼、听及嗅觉无法发现的微小状态量变化，及时制定相应的措施，有效掌握设备状态。

由于带电检测需要专门的检测仪器，对运维人员检测技能要求比较高，培训与实践周期较长，面临传统运维人员业务转型挑战。

结束语

结合传统常规人工巡检模式、智能巡检平台应用与运维人员开展的运维一体化项目，发挥各自优点，弥补三者之间不足，打造具备状态感知、缺陷发现、主动预警、设备管控及应急处置五种能力立体化巡检模式，有利于充分利用人力资源，做到真正减员增效，有利于及时发现设备的潜在性隐患和科学地进行巡检决策，提高设备安全稳定运行的可靠性。EA

(收稿日期：2022-04-21)