

电力系统变电运行安全管理及设备维护技术

薛 瑞 任 杰 张明阳

内蒙古电力（集团）有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：本文聚焦电力系统变电运行安全管理与设备维护核心问题，梳理变电安全管理的内涵、原则与风险类型，剖析当前制度落实不严、人员素养不足、智能化水平偏低等现存问题。系统阐述变压器、断路器等核心设备的常规维护、状态监测与智能运维技术，从制度完善、人员建设、技管融合、智能管控四方面提出优化策略，旨在提升变电运维安全性与智能化水平，保障电网稳定可靠运行。

关键词：电力系统变电运行；安全管理；设备维护技术

引言：变电运维是电力电网安全稳定运行的核心环节，直接关系供电可靠性与用电安全。随着电网规模持续扩大、设备运维复杂度不断提升，传统运维模式弊端逐渐凸显，人为操作失误、设备老化故障、管理体系漏洞等风险频发。为有效防控变电运行各类安全隐患，规范设备全周期维护流程，本文结合变电运维工作实际，系统探究安全管理要点与先进维护技术，探索管理与技术融合的优化路径，为电网安全高效运维提供参考。

1 电力系统变电运行安全管理基础概述

1.1 变电运行安全管理核心内涵

（1）变电运行安全管理的定义与核心目标。变电运行安全管理是指为确保变电设备安全稳定运行、防止事故发生而实施的一整套计划、组织、协调与控制活动。其核心目标在于构建本质安全型变电运行体系，通过科学管理和技术手段，将运行风险控制在可接受范围内，确保电网安全可靠供电。（2）变电安全管理的核心工作范畴。主要涵盖设备巡视检查与状态评估、倒闸操作安全管控、检修作业现场监督、安全工器具管理、隐患排查治理、应急预案编制与演练以及安全教育培训等环节。各环节相互衔接，形成事前预防、事中控制、事后改进的闭环管理体系。（3）安全管理在电网运维中的实施原则。遵循“安全第一、预防为主、综合治理”的基本方针，坚持“谁主管、谁负责”的权责对等原则，落实安全生产责任制。同时贯彻源头治理与动态管控相结合、人防与技防并重的实施原则，将安全管理贯穿于变电运维全过程。

1.2 变电运行安全风险主要类型

（1）人为操作风险。主要包括误操作风险，如带负荷拉合隔离开关、带电装设接地线等恶性误操作；违规作业风险，如无票作业、擅自扩大工作范围；操作疏忽风险，如走错间隔、漏项操作、监护不到位等。人为因

素是变电运行事故的主要诱因。（2）设备运行风险。主要体现为设备绝缘老化导致的击穿短路风险、断路器操作机构卡涩引发的拒动误动风险、变压器绕组变形及分接开关故障风险，以及互感器、避雷器等附属设备绝缘破损隐患。设备状态劣化具有隐蔽性和累积性，需依赖专业检测手段识别^[1]。（3）环境与管理风险。环境方面包括雷击、暴雨、污闪、高温过载等外部因素引发的突发性风险。管理方面则体现为安全责任划分模糊、规章制度更新滞后、现场监管缺位、安全考核流于形式等系统性缺陷，此类风险具有周期长、累积性强、难以量化评估的特点。

1.3 变电运行安全管理现存问题

（1）安全管理制度落实不到位，流程执行流于形式。部分班组“两票三制”执行存在走过场现象，操作票审核不严谨、危险点分析不深入。安全日活动、班前班后会记录完整但缺乏实效，制度文件停留在纸面，未能转化为现场作业的实际约束力。（2）运维人员安全意识薄弱，专业素养参差不齐。一线运行人员对安全规程掌握不扎实，习惯性违章行为时有发生。部分员工缺乏主动防范意识，对设备异常信号识别能力不足，应急处理经验欠缺。新老人员技能断层明显，岗位培训针对性与实效性有待提升。（3）安全监管手段传统，智能化管控水平不足。当前安全监督仍较多依赖现场人工巡查和事后追责，缺乏在线监测与智能预警手段。设备状态感知、操作防误闭锁、人员行为监控等智能化应用覆盖面不广，数据资源整合与分析利用深度不够，难以实现风险超前管控与精准决策。

2 电力系统变电设备核心维护技术

2.1 变电核心设备常规维护技术

（1）变压器日常巡检、故障排查与养护技术。日常巡检重点监测油温油位、呼吸器硅胶变色程度、冷却系

统运行状态及本体异响判别。故障排查运用油色谱分析诊断内部过热及放电性缺陷,通过直流电阻测试和绝缘吸收比测量判断绕组变形及受潮情况。养护措施包括定期油质过滤与再生处理、瓦斯继电器动作校验、散热器高压水冲洗及密封胶垫周期性更换。(2)断路器、隔离开关操作机构维护技术。断路器维护涵盖灭弧室触头磨损量检测、六氟化硫气体密度及微水含量监控、分合闸线圈动作电压测试及储能弹簧疲劳程度评估。隔离开关维护聚焦于触指夹紧力与镀银层接触电阻检测、传动连杆润滑保养、三相分合闸同期性调整及底座紧固螺栓防松处理。(3)互感器、母线及电缆线路常规维护技术。互感器开展绝缘油耐压试验、末屏接地检查及二次端子盒防潮密封。母线系统检测搭接面接触电阻、绝缘支柱表面污秽清理及热伸缩补偿器状态评估。电缆线路测量外护套绝缘电阻、终端头及中间接头红外测温、接地电流监测并更新路径警示标识^[2]。

2.2 变电设备状态监测与故障诊断技术

(1)设备在线状态实时监测技术应用。部署油中溶解气体、局部放电脉冲、绕组热点温度及断路器线圈电流波形等多类型传感器,数据经站端处理通过光纤或5G上传主站,实现全天候跟踪与越限自动告警。(2)红外测温、局放检测等无损诊断技术。红外热成像快速定位隔离开关触头发热、电缆终端异常温升及避雷器受潮等热缺陷。超高频及超声波局放检测识别GIS内部微粒放电、变压器气泡放电及开关柜绝缘沿面爬电等绝缘劣化征兆,定位精度达厘米级。(3)大数据驱动的设备故障预判与预警技术。整合SCADA实时数据、在线监测与历史试验数据构建设备多维特征库,采用机器学习算法训练故障诊断模型,实现绕组变形、动作特性偏移等潜在失效模式的趋势预判与超前预警。

2.3 变电设备预防性维护与检修技术

(1)周期性预防性检修实施标准与流程。依据DL/T596《电力设备预防性试验规程》,按设备类型、电压等级及运行年限制定差异化周期。流程包含状态评价与方案编制、停电隔离与安全措施布置、检修作业与质量监督、修后试验验收与状态复评。(2)设备老化部件更换与性能优化技术。更换超期服役的变压器密封胶垫、断路器灭弧室触头、电容器组熔断器等关键部件。引入真空注油工艺提升绝缘强度,安装散热器自动冲洗装置改善冷却效率,采用SF6回收净化技术保证气体绝缘性能^[3]。(3)故障应急抢修与快速恢复技术要点。遵循“隔离故障、恢复送电、限期修复”三级处置原则。要点包括快速故障隔离与安全接地、应急物资模块化储

备、抢修流程标准化响应,以及恢复送电前的绝缘耐受试验与带负荷试运行检验。

2.4 智能化维护技术的应用与优势

(1)智能巡检机器人在变电运维中的应用。轨道式或轮式机器人搭载可见光、红外热像与局放传感器,按预设路径自主完成表计读数采集、温度分布扫描及局部放电检测。配合图像识别算法自动判别渗漏油、锈蚀及异物悬挂等异常,替代人工高频次例行巡检。(2)设备数字化台账与全生命周期维护管理。建立统一数字台账记录设备出厂参数、安装调试、历次检修试验及缺陷处理全生命周期履历。系统自动提醒检定到期与检修超期任务,推动维护计划由静态周期管理向动态策略转变。(3)智能化技术对运维效率的提升作用。大幅降低人工巡检频次与近电作业风险,减少非计划停电时间,设备故障平均发现时间显著缩短,运维决策由经验驱动转向数据驱动,设备可用率和整体运维效能得到实质性提升。

3 电力系统变电运行安全管理优化与运维技术融合策略

3.1 完善变电运行安全管理制度体系

(1)细化标准化作业流程,规范操作行为准则。逐项梳理倒闸操作、设备巡视、检修作业等核心业务环节,制定图文并茂的标准化作业指导书,明确每一步骤的操作要领、风险提示与确认要求。将“两票三制”执行要点深度嵌入具体作业流程,确保制度要求转化为现场可操作、可检查的行为规范,消除规程与执行之间的盲区。(2)建立分层级安全责任落实与考核机制。构建“站—班组—岗位”三级安全责任体系,逐级签订安全目标责任书,明确各级人员安全管理职责边界与履职标准^[4]。配套建立量化考核指标体系,将违章次数、隐患发现率、安全整改完成率等纳入绩效考核,实施月度统计、季度评价、年度总评的周期考核机制,实现安全责任刚性约束与正向激励并重。(3)健全风险分级管控与隐患排查治理体系。建立覆盖变电运行全过程的安全风险数据库,按照事故发生概率与后果严重程度将风险划分为红橙黄蓝四个等级,对应制定差异化管控措施。完善隐患排查、登记、评估、治理、验收、销号的闭环管理流程,落实“一患一档”制度,重大隐患实行领导挂牌督办,确保隐患发现一处、治理一处、销号一处。

3.2 强化运维人员安全与专业能力建设

(1)常态化安全警示教育与岗位技能培训。定期组织典型事故案例复盘分析,开展“以案促学”专题研讨,通过事故模拟再现和责任倒推强化一线人员安全红线意识。结合季节性特点和设备运行状况,针对性开展倒闸操作标

准化、故障应急处置等专项技能培训,推行“师带徒”现场实操带教模式,缩短新员工岗位适应周期。(2)搭建运维人员考核与技能提升体系。建立涵盖理论知识、实操技能、应急能力等多维度的岗位胜任力模型,实施年度技能等级评定与持证上岗管理。定期组织技术比武和岗位练兵活动,设置差异化成长通道,将技能水平与薪酬晋升直接挂钩,营造比学赶超的学习氛围,激发员工自主学习与技能提升的内生动力。(3)培育标准化、规范化运维作业思维。通过制度宣贯、行为纠偏、榜样示范等途径,将标准化意识融入日常作业习惯。推行“作业前风险预控五分钟”和“操作前手指口述”等现场实践,使规范化操作从制度要求内化为员工自觉行为,从源头减少因作业随意性引发的人为操作失误。

3.3 推进安全管理与设备维护技术深度融合

(1)以安全管理标准规范设备维护作业流程。将安全管理要求作为设备维护作业的前置条件,在维护方案编制阶段同步完成风险辨识与安全措施设计。维护作业票审批环节增加安全措施确认节点,每一项维护操作均有对应的安全保障方案,实现作业全过程安全受控。

(2)依托先进维护技术降低安全运行风险。利用在线监测与智能诊断技术实时掌握设备状态,有效减少人工巡检频次和近电作业时间,从源头降低人身触电和高空坠落风险。运用故障预判技术提前发现设备劣化趋势,将事后抢修转变为事前消缺,避免突发故障引发设备损坏和电网安全事件。(3)构建“管理+技术”一体化运维管控模式。建立安全管理制度与技术支撑系统的协同运作机制,将安全规章、操作规程、应急预案等数字化内容嵌入智能运维平台,实现制度要求与作业执行的无缝衔接。形成管理决策有技术数据支撑、技术应用有管理制度保障的良性互动格局^[5]。

3.4 构建智能化变电运维安全管控体系

(1)搭建变电运维安全数字化监管平台。整合设备在线监测、视频监控、作业票管理、人员定位等多源数据,构建统一的数字化安全监管平台。平台实现作业票

审批电子化、安全措施在线确认、操作过程全程留痕、人员轨迹可追溯等功能,为安全管理和责任界定提供完整的数据基础。(2)实现运维全过程动态监控与风险预警。利用物联网和视频AI分析技术,对作业现场人员行为、设备状态、安全措施执行情况等进行实时动态监控。系统自动识别违章操作、越界作业、安全措施缺失等异常行为,即时推送预警信息至相关责任人,实现风险早发现、早干预、早处置。(3)依托大数据优化运维决策与资源配置。通过对历史安全事件、设备故障记录、巡检维护数据等多源信息的深度挖掘分析,精准识别安全管理薄弱环节和设备风险高发区域。基于分析结果科学优化巡检计划编制、维护资源配置及应急预案部署,推动安全管理的由事后被动应对向事前主动防控的战略转变。

结束语

变电运行安全管理与设备维护是电网运维工作的重中之重,是防范电网事故、提升供电质量的关键支撑。本文全面梳理变电安全管理现存短板与各类运行风险,总结传统与智能化设备维护核心技术,构建全方位的运维优化体系。未来需持续深化制度改革、强化人员专业能力、普及智能运维技术,推动安全管理与设备维护深度融合,助力电力电网运维工作向智能化、精细化、安全化高质量发展。

参考文献

- [1]于荣荣.电力系统变电运行安全管理及设备维护技术[J].电站辅机,2025,46(01):69-72.
- [2]蔡美琪,刘宇琛.电力系统变电运行安全管理与设备维护信息化技术研析[J].电力设备管理,2025,26(22):167-169.
- [3]李宏民.变电运行中的设备维护技术分析[J].集成电路应用,2025,42(06):258-259.
- [4]高峰,郭宏波,贾越博,等.电力系统变电运行安全管理与设备维护技术分析[J].仪器仪表用户,2024,31(12):114-116.
- [5]严宏,程杰.基于电力系统变电运行安全管理与设备维护的探究[J].中国设备工程,2024,15(S01):125-128.