

智能变电站变电运维安全管控研究

吕强强 王志娟

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：智能变电站依托三层架构实现运维数字化、智能化转型，颠覆了传统变电运维模式，同时也衍生出设备、人员、管理、网络等多维度安全管控难题。本文梳理智能变电站运维管控核心理论与关键技术，深入剖析当前运维安全管控的现存问题及深层成因，从设备管控、人员建设、机制完善、平台搭建四个维度提出优化策略，旨在构建全流程闭环安全管控体系，提升智能变电站运维安全性与智能化水平，保障电网稳定运行。

关键词：智能变电站；变电运维；安全管控

引言：随着电力系统智能化升级推进，智能变电站成为现代电网的核心枢纽，其运维安全直接关系电力系统供电稳定性与可靠性。相较于传统变电站，智能变电站运维模式更具数字化、远程化、集成化特征，对安全管控的精细化、智能化要求大幅提升。当前运维管控体系尚未完全适配智能设备与新型运维模式，各类安全隐患频发。基于此，本文开展智能变电站运维安全管控专项研究，针对性破解管控痛点，为电力运维安全管理优化提供参考。

1 智能变电站变电运维安全管控相关理论与核心内容

1.1 智能变电站核心架构与运维特点

（1）智能变电站整体架构：智能变电站采用过程层、间隔层、站控层三层架构。过程层由智能互感器、合并单元、智能终端等构成，完成电气量采集与设备状态感知，智能互感器通过电子式传感与光纤传输实现高精度数据采集，合并单元完成多路采样值同步汇总；间隔层以保护、测控、故障录波等二次设备为主体，实现就地化决策与控制指令执行；站控层通过监控后台、远动网关等实现全站信息汇聚与调度交互^[1]。（2）智能变电站运维特点：相较传统变电站，运维呈现数字化传输、自动化操作、远程化监控、集成化管理的核心特征。一次设备智能化（如GIS内置传感器）支撑设备自诊断，二次设备网络化（GOOSE/SV共网传输）替代传统硬接线，推动运维模式由现场人工定期巡检向远程智能联合巡检转变，由事后被动处置向事前主动预警转变。

1.2 变电运维安全管控核心内涵与原则

（1）安全管控核心内涵：智能变电站运维安全管控覆盖设备运行状态监控、现场作业过程监管、人员操

作行为规范、环境风险预警联动、网络安全防护保障等全维度场景，实现人一机一网一环一体化安全风险管控。（2）安全管控基本原则：遵循预防为主（风险识别前移）、防治协同（监测与处置并重）、智能管控（数据驱动决策）、闭环管理（计划—执行—检查—改进全流程）四大核心原则，统筹安全性、高效性、规范性与经济性，实现安全与效益的动态平衡。

1.3 智能变电站运维安全管控关键技术

（1）设备状态智能监测技术：部署温度、局部放电、振动、油色谱等多类型传感器，实现变压器、GIS、断路器、二次装置等主设备运行参数的非侵入式实时采集与在线状态感知。（2）大数据故障预警技术：汇聚SCADA、在线监测、巡检历史等多源异构数据，通过特征提取与趋势分析挖掘设备潜伏性隐患，实现故障提前预警与精准定位，替代传统人工被动巡检模式。（3）远程可视化管控技术：依托高清视频巡检、机器人巡检、远程监控后台等载体，构建运维作业远程监督与异地管控能力，实现操作过程可追溯、现场风险可干预，有效降低高危险区域人员暴露风险。

2 智能变电站变电运维安全管控现存问题及成因分析

2.1 设备层面安全管控问题

（1）智能设备运维隐患突出：智能终端、合并单元等二次设备对环境敏感，易出现采样异常、对时偏差、丢帧等数据异常。设备老化、配置错误、调试不当等引发的隐性故障隐蔽性强、诱因复杂、偶发高，传统巡检难以发现，排查定位困难。（2）设备监测体系不完善：部分变电站智能监测设备部署不全、传感器覆盖有限，老旧站点改造不彻底，存在采集频率低、传输延迟大、监测盲区多等问题，难以实现关键设备全时段全方位管

控。同时,不同厂家接口协议不统一,数据互联互通困难,削弱整体监测效能^[2]。(3)设备预防性维护不足:多数变电站仍沿用定期检修模式,未有效利用自诊断信息和在线监测数据进行状态评估,未结合运行状态开展差异化检修。“一刀切”模式导致状态良好的设备过度检修,增加成本与风险;同时潜在隐患设备缺乏针对性维护,易出现检修遗漏,降低运行可靠性。

2.2 人员层面安全管控问题

(1)运维人员专业能力不足:部分运维人员仅掌握传统变电站运维技能,对电子式互感器、合并单元、智能终端等智能设备的工作原理理解不深,对智能化运维系统操作不熟练,面对复杂故障的分析判断与应急处理能力欠缺,难以适应智能变电站运维要求。(2)人员安全操作规范性不足:现场作业过程中,存在操作票执行不严格、安全措施落实不到位、安全工器具使用不规范等问题,违章操作现象时有发生。尤其是在智能变电站网络配置修改、保护定值整定等高风险数字化作业环节,操作失误可能引发继保误动或拒动,造成严重的设备与电网安全事故。(3)人员安全管控机制不完善:缺乏系统完善的人员安全考核评价体系、分层分类培训机制和权责划分制度,运维人员安全责任意识薄弱,定期培训流于形式,应急演练实战性不足,整体应急处置能力难以满足实际需求。

2.3 管理与环境层面安全管控问题

(1)安全管理制度适配性差:现行运维安全管理制度体系多针对传统变电站运行场景制定,尚未充分适配智能变电站二次设备网络化、运维远程化、数据平台化等新特征,管控流程中存在职责划分模糊、审批环节冗余、异常处置预案缺失等漏洞,制度更新滞后于技术发展。(2)现场作业环境管控薄弱:智能设备对环境条件要求较高,但部分变电站温湿度调控、防尘防潮、电磁屏蔽等环境保护措施不到位,雨雪、雷电等恶劣天气下设备运行风险增大。环境监测传感器布设不足,环境异常预警机制不健全,难以及时发现并消除环境诱因。(3)网络信息安全管控缺失:智能变电站依赖MMS、GOOSE、SV等网络协议实现数据采集与设备控制,但网络安全防护体系不完善,防火墙、入侵检测、安全审计等防护手段部署不足,存在网络入侵、数据篡改、病毒攻击、系统瘫痪等信息安全风险,一旦遭受攻击可能引发大面积停电事故。

2.4 问题成因综合分析

(1)技术层面:智能化运维技术虽已初步应用,但

软硬件配套设施升级滞后,老旧设备智能化改造推进缓慢。智能监测、大数据预警、远程管控等关键技术的部署深度与覆盖广度不足,技术红利尚未充分转化为实际管控效能。(2)人员层面:专业培训体系更新速度远滞后于智能技术迭代速度,运维人员知识结构老化、技能迭代缓慢。同时,安全责任逐级传导机制不畅,基层执行层存在责任弱化现象,影响安全管控措施落地实效。(3)管理层面:安全管控体系更新不及时,设备、人员、环境、网络等各维度管理条块分割,未形成一体化闭环管控机制。跨部门协同效率低,信息共享不充分,整体管控合力不足,难以有效应对智能变电站复杂多变的运维安全形势。

3 智能变电站变电运维安全管控优化策略

3.1 优化设备全生命周期安全管控体系

(1)完善智能设备监测布局:全面排查现有监测设备覆盖情况,针对智能终端、合并单元、交换机、保护装置等核心二次设备补装状态监测传感器,实现对一次设备(变压器、GIS、断路器)与二次设备运行参数的全覆盖采集。统一数据采集频次与传输协议标准,优化数据汇集、清洗与上送流程,确保监测数据的实时性、完整性与可靠性,系统性地消除监测盲区。(2)推行状态化预防性检修:摒弃传统“到期必修”的定期检修思维,充分挖掘设备状态监测数据、家族性缺陷历史数据及同型设备运行经验,构建设备健康状态动态评估模型。依据评估结果科学制定差异化检修策略——对状态良好设备适度延长检修周期,对隐患征兆设备提前安排针对性检修,实现从“计划检修”向“状态检修”的转型升级,在降低过度检修成本的同时有效防范检修遗漏风险^[3]。(3)强化设备故障闭环处置:建立“预警触发—故障确认—原因排查—检修处置—效果验证—复盘归档”六环节全流程闭环机制。每次故障处理后详细记录故障现象、排查过程、处置措施及根因分析,形成可检索、可回溯的设备故障知识库,运用统计分析识别高频故障类型与薄弱环节,为设备选型、运维策略优化提供数据支撑,杜绝同类故障反复发生。

3.2 强化运维人员安全能力建设与管控

(1)构建分层分级培训体系:根据运维人员的岗位层级(值班员、值长、专责)、技能基础(传统运维背景、智能站运维背景)及年龄结构,制定差异化培训方案。新进人员侧重智能设备基本原理与运维系统基础操作培训,在岗人员侧重智能化系统高阶应用、典型故障案例分析与应急决策训练。综合运用集中授课、

仿真实操、现场实训、技术比武等多元方式,确保培训实效。(2)规范现场安全作业流程:针对智能变电站特有的数字化作业场景(如GOOSE/SV配置修改、保护定值远程下装、智能终端更换等),细化编制专项作业指导书与安全操作卡,明确每一步骤的操作方法、危险点及防控措施。推行作业全过程视频记录与远程同步监督,实行操作前安全条件确认、操作中监护到位、操作后复核验证,从制度与技术双维度杜绝违章操作。(3)完善人员考核与权责机制:建立覆盖安全意识、技能水平、作业规范性、隐患排查贡献等多维度的量化考核指标体系,将安全绩效与岗位晋升、薪酬激励直接挂钩。明确站长、值长、运维值班员等各岗位安全权责边界,推行安全责任网格化管理,确保每项作业、每台设备、每个区域的安全责任落实到人,切实强化全员安全责任意识。

3.3 完善全场景安全管理与环境管控机制

(1)更新适配智能化运维的管理制度:系统梳理现行运维安全管理制度体系,逐条甄别与智能变电站运行实际不相适应的条款。针对性修订操作票管理、工作票管理、设备巡视、缺陷管理、应急处置等核心制度,将智能设备网络配置管理、远程操作权限管控、在线监测数据应用等新增内容纳入制度框架,填补管理空白,消除流程漏洞^[4]。(2)优化现场运行环境管控:部署温湿度传感器、磁场强度监测仪、气象信息接收终端等环境感知设备,构建环境参数实时采集与超限预警平台。建立环境因素与设备运行状态的关联分析机制,当环境参数接近设备耐受阈值时自动触发通风除湿、电磁屏蔽、设备停运等保护措施。针对户外设备增设防雨防潮、隔热降温等物理防护,最大限度降低恶劣环境对设备稳定性的不利影响。(3)筑牢网络信息安全防护体系:依据电力监控系统安全防护规定,合理部署防火墙、入侵检测系统、安全审计平台等防护设备,构建纵向加密、横向隔离的网络安全边界。对关键数据传输实施加密认证,严防数据篡改与泄露。建立定期漏洞扫描、渗透测试、安全加固机制,制定网络安全应急预案并定期演练,全方位防范网络入侵与系统瘫痪风险。

3.4 搭建智能化综合安全管控平台

(1)平台整体架构设计:以统一数据中台为底座,采用“感知层—数据层—分析层—应用层”四层架构,

将设备状态监测、人员行为管理、环境参数监控、故障预警诊断、应急指挥调度、网络安全态势等六大功能模块深度融合,打破各业务系统间的数据壁垒,构建“一平台、全要素、协同化”的智能运维安全管控中枢^[5]。(2)平台核心功能落地:开发运维数据可视化全景展示界面,实现全站设备状态、人员位置、环境参数的一屏掌控;部署基于AI算法的隐患智能识别引擎,自动筛查设备异常信号与作业违规行为;建设作业票全流程电子化与远程许可功能,实现操作步骤的智能防误校验与风险自动提示;构建多维度安全风险评估模型,实现安全态势的自动评级与分级预警。(3)平台应用保障措施:成立专项平台运维团队,制定平台日常巡检、数据备份、故障恢复的标准作业流程;建立软件版本迭代与功能优化机制,根据现场使用反馈持续完善分析模型与业务流程;定期开展平台操作培训与实战演练,确保各级人员会用、善用平台功能,切实将平台从“建设好”推进到“用得好”,全面赋能运维安全管控能力跃升。

结束语

本文系统分析智能变电站运维安全管控的核心内容与技术体系,梳理出设备监测不完善、人员能力不足、管理制度滞后、网络安全薄弱等核心问题,并结合成因提出全方位优化对策。通过完善设备全生命周期管控、强化人员能力建设、健全全域管理机制、搭建智能管控平台,可有效补齐运维安全短板。未来需持续结合技术迭代优化管控模式,持续提升智能变电站运维安全防护能力。

参考文献

- [1] 种思敏,李琳.智能变电站变电运维安全管控的策略研究[J].电工技术,2023(S01):68-70.
- [2] 陈书里,刘东,陈建洪,等.基于云边协同与区块链融合的变电站智能防误技术研究[J].供用电,2025,42(04):169-179.
- [3] 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.
- [4] 李志强,丁小蔚,杜王特.基于数字孪生的变电站潜在故障定位预警研究[J].电工技术,2022,13(10):35-38.
- [5] 魏永维.智能变电站变电运维安全管控及难点分析[J].科技创新发展,2024,1(05):45-48.