

关于现代化电力工程变电运行安全管理的几点探讨

李宇湘

441900*****0033

摘要: 变电运行作为电力系统“发-输-变-配-用”链条的核心枢纽，承担着电能转换、潮流调控、故障隔离及新能源消纳的关键职能，其安全状态直接决定电网可靠性与供电持续性。随着“双碳”目标推进与新型电力系统构建，变电运行面临新能源高比例接入、设备智能化升级、运行环境复杂化等新挑战，传统安全管理模式的滞后性愈发凸显。本文立足现代化电力工程需求，系统梳理变电运行的功能定位与安全核心需求，深入剖析传统管理模式的痛点，并从数字化智能运维、全周期风险预控、人员能力升级及协同化管理四大维度，提出适配现代化场景的安全管理策略，同时探讨策略实施的保障机制与未来趋势。

关键词: 变电运行；安全管理；现代化电力工程；风险防控；数字化运维

DOI: 10.69979/3060-8767.25.11.076

引言

电力工程是国家基础设施的“骨架”，变电运行则是电力系统的“心脏”——它将发电机发出的电能通过变压器转换为不同电压等级，通过开关设备调控电力流向，当线路或设备故障时快速隔离风险，同时支撑风电、光伏等新能源的波动性接入。然而，传统变电运行安全管理仍以“人工巡检+事后整改”为主，存在风险预判滞后、技术手段局限、人员能力断层等痛点，难以适配现代化需求。在此背景下，探讨变电运行安全管理的现代化转型路径，既是解决行业问题的现实需求，也是推动电力工程高质量发展的关键环节。

1 变电运行在现代化电力工程中的核心定位与安全需求

1.1 变电运行的功能定位：从“电能中转”到“系统中枢”

传统认知中，变电运行的核心功能是“变压”与“配电”，但在现代化电力工程中，其定位已升级为“电力系统的中枢神经”，具体承担四大功能：其一，电能转换与潮流调控。通过变压器将发电机出口的10-20千伏电能升至110千伏及以上高压，满足长距离输电需求；同时，通过断路器、隔离开关等设备调整电力流向，平衡电网负荷，避免局部过载。其二，故障隔离与系统保护。当输电线路或用电设备发生短路、接地等故障时，变电站的保护装置（如差动保护、过流保护）快速动作，切断故障回路，防止事故扩大至整个电网。其三，新能

源消纳与电能质量保障。针对风电、光伏的间歇性出力，变电站需通过无功补偿装置（如SVG静止无功发生器）调整电压，通过储能系统平抑功率波动，确保输出电能符合电网频率、电压要求。其四，源网荷储协同枢纽。在新型电力系统中，变电站需连接发电侧（新能源、传统电源）、电网侧（输电线路）、负荷侧（用户）及储能侧（电池、抽水蓄能），通过信息交互实现“源随荷动”，提升系统灵活性。这种功能升级，意味着变电运行的安全不仅关系到自身设备稳定，更影响整个电力系统的协同效率。

1.2 现代化电力工程对变电运行的安全需求

现代化电力工程的“绿色、智能、协同”特征，对变电运行安全提出了三大核心需求：其一，人员与设备安全。变电站内存在高电压（110千伏及以上）、高电场、SF₆气体等危险因素，需防止触电、电弧灼伤、气体中毒等事故；同时，设备长期运行会出现绝缘老化、接触不良等问题，需避免故障引发火灾或爆炸。其二，电网稳定运行。变电站是电网的节点，其运行状态直接影响区域电网的潮流分布与电压水平，若发生故障可能导致电网解列、大面积停电，需保障设备的可用率与可靠性。其三，新能源兼容与灵活调控。新能源的波动性要求变电站具备更强的适应性，需确保保护装置能正确识别新能源故障特征，避免误动或拒动；同时，需支持储能系统、分布式电源的“即插即用”，保障新能源高效消纳。其四，数据安全与信息安全。智能变电站的数字化设备（如合并单元、智能终端）需采集、传输大量

运行数据，需防止数据泄露或被篡改，避免影响系统决策。

2 传统变电运行安全管理的核心痛点

2.1 风险防控的滞后性

传统管理依赖定期巡检与离线检测，如每月一次的红外测温、每季度一次的油色谱分析，难以捕捉设备的早期故障特征。例如，变压器绝缘纸的老化会产生微量乙炔气体，但早期含量极低，离线检测无法及时发现；断路器的触头磨损是渐进过程，人工巡检难以判断接触电阻的变化。这种滞后性导致故障发生后才启动整改，不仅增加维修成本，还可能引发停电事故。

2.2 技术手段的局限性

传统巡检以人工为主，依赖运行人员的经验判断设备状态：如通过听声音判断变压器是否正常，通过观察油位判断是否缺油。这种方式受人员主观因素影响大，易出现误判；同时，离线检测的数据无法实时上传，管理人员难以及时掌握设备动态。例如，某变电站的电容器组出现局部放电，但人工巡检未发现，直到放电导致电容器击穿，才引发跳闸事故。

2.3 人员能力的断层

变电运行的技术门槛高，需要运行人员掌握高电压技术、继电保护、设备运维等多学科知识。老员工熟悉传统设备的操作与维护，但对智能变电站的数字化设备（如合并单元、智能终端）缺乏了解；新员工具备理论知识，但缺乏现场实践经验，应对突发故障的能力不足。例如，智能变电站的保护装置采用数字化通信，当通信中断时，新员工可能无法快速定位故障点，延误处置时间。

3 现代化变电运行安全管理的核心策略维度

3.1 构建数字化智能运维体系

数字化是提升安全管理效能的核心抓手，需重点推进三项工作：其一，设备状态全感知。在变压器、断路器、GIS设备、电容器组等关键设备上安装物联网传感器，实时采集温度、湿度、局放、气体浓度、振动等数据，上传至变电站智能运维平台。例如，通过在变压器绕组安装光纤传感器，可实时监测绕组温度分布，提前预警绝缘老化。其二，AI辅助故障诊断。利用机器学习算法分析历史数据，建立设备故障特征库：如变压器油

色谱数据中的乙炔含量上升趋势，预示内部绝缘故障；断路器的分合闸时间异常，预示操动机构磨损。AI系统可实时分析数据，发出预警信息，提醒运维人员提前处理。其三，智能巡检与远程操控。采用智能巡检机器人替代人工巡检，机器人可搭载红外摄像头、超声波局放检测仪等设备，自动完成设备巡检，数据实时上传平台；对于偏远或高危区域的设备，可通过远程操控机器人进行检查，减少人员暴露在危险环境中的时间。

3.2 建立全周期风险预控机制

全周期管理需覆盖变电站“规划设计-建设施工-运行维护-退役报废”全流程：其一，规划设计阶段的风险预判。在设计变电站时，需考虑新能源接入的需求，预留足够的无功补偿容量，优化设备布局以减少电磁干扰；同时，通过数字孪生技术模拟变电站运行场景，预测可能出现的风险（如新能源波动导致的电压越限），提前调整设计方案。其二，建设施工阶段的质量管控。加强对设备安装质量的验收，如变压器的器身检查、断路器的操动机构调试，确保设备投运前无隐患；同时，建立施工质量追溯体系，记录每一道工序的责任人，避免因施工质量问题引发后期故障。其三，运行维护阶段的动态风险管控。基于智能运维平台，实时监控设备状态，当数据异常时自动触发预警，运维人员根据预警信息制定检修计划；同时，开展设备状态评价，根据设备的健康状况调整巡检频次，实现“精准运维”^[1]。

3.3 推进人员能力现代化

人员是安全管理的核心，需构建“分层分类、实战导向”的培训体系：其一，基础知识与技能培训。针对新员工，开展高电压技术、继电保护、智能设备操作等理论培训，同时通过模拟仿真系统（如变电站虚拟仿真平台）进行实操训练，让新员工在虚拟环境中熟悉设备操作与故障处置。其二，新能源与智能技术专项培训。针对老员工，开展新能源接入技术、数字化设备原理、AI诊断系统应用等专项培训，提升其应对现代化变电站的能力。其三，应急能力训练。通过桌面推演、实战演练等方式，训练运行人员的故障处置能力，如模拟主变故障时的隔离操作、新能源脱网时的电压调整，提升应急响应速度。

3.4 打造协同化管理平台

协同化是提升安全管理效率的关键，需构建“横向

到边、纵向到底”的协同平台：其一，整合内部信息系统。将 SCADA 系统（数据采集与监控系统）、设备状态监测系统、巡检机器人系统、两票管理系统（工作票、操作票）整合到统一平台，实现数据实时共享。例如，调度部门的电网运行方式数据可同步至运维部门，运维部门的设备状态数据可同步至检修部门，避免信息差。其二，联动外部主体。与设备厂家建立远程技术支持机制，当设备出现故障时，厂家可通过平台获取设备数据，远程指导运维人员处置；与应急部门建立联动机制，当发生大面积停电时，应急部门可及时获取变电站的故障信息，开展救援。其三，建立“责任共担”机制。通过平台记录各部门的工作流程与责任，明确故障处置中的职责分工，避免责任推诿^[2]。

4 策略实施的保障机制

4.1 技术保障：加大研发投入，推动技术创新

企业需联合高校、科研院所，开展智能运维技术、设备状态诊断技术、新能源兼容技术的研发：如研发高精度的光纤传感器，提升变压器绕组温度监测的准确性；研发基于边缘计算的 AI 诊断系统，实现设备故障的本地快速分析；研发支持新能源接入的新型保护装置，提高保护的正确性。同时，加强数字化平台建设，确保数据的安全存储与高效传输。

4.2 管理保障：完善制度体系，强化责任落实

其一，健全安全管理制度。修订“两票三制”（工作票、操作票，监护制、复诵制、核对制），将其数字化，如电子工作票可自动关联设备状态与安全措施，避免人为遗漏；完善设备巡检制度，根据智能平台的预警信息动态调整巡检频次。其二，建立绩效考核机制。将安全管理指标（如故障预警率、隐患整改率、人员培训合格率）纳入员工绩效考核，激励员工主动参与安全管理；对发生安全事故的责任人，严肃追责。其三，加强安全文化建设。通过安全讲座、案例警示、应急演练等方式，培育“安全第一”的企业文化，让员工从“要我安全”转变为“我要安全”^[3]。

5 未来发展趋势

5.1 更智能的自主运维：从“辅助决策”到“自主决策”

未来，智能运维系统将具备自主诊断与自主处置能

力：AI 系统可自动分析设备数据，识别故障类型，并给出处置方案；智能巡检机器人可自主完成故障设备的隔离与修复，减少人工干预。例如，当变压器出现轻微绝缘故障时，系统可自动调整无功补偿装置，降低变压器负荷，延缓故障发展。

5.2 更融合的能源互联网

变电站将与分布式能源、储能系统、电动汽车充电桩等深度融合，形成“源网荷储”一体化的能源互联网。变电站不仅是电能转换的枢纽，还是能源调度中心，可实时调整分布式能源的出力，控制储能系统的充放电，引导电动汽车充电，实现能源的高效利用^[4]。

5.3 更人性化的安全管理

未来，安全管理将更注重人员的身心健康：通过 VR 培训系统，让员工在虚拟环境中体验危险场景，提升安全意识；通过智能穿戴设备，监测员工的生命体征，当员工疲劳作业时，系统自动提醒休息；通过心理辅导，缓解员工的工作压力，减少因人为失误引发的事故。

6 结论

现代化电力工程变电运行安全管理，是保障电网可靠、支撑新能源消纳、服务经济社会发展的重要基础。面对传统管理的滞后性、技术手段的局限性、人员能力的断层及协同机制的低效等痛点，需通过数字化智能运维、全周期风险预控、人员能力升级及协同化管理四大策略，实现从“被动应对”到“主动预控”的转型。同时，通过技术、管理、政策的协同保障，确保策略落地见效。未来，随着智能技术的进一步应用与能源互联网的构建，变电运行安全管理将更加智能、融合、人性化，为新型电力系统的安全稳定运行提供更坚实的支撑。

参考文献

- [1]高建华. 电力工程变电运行的安全管理分析[J]. 光源与照明, 2021(06): 130-131.
- [2]康缘. 电力工程变电运行的安全技术及管理分析[J]. 中国高新科技, 2021(11): 88+90.
- [3]李弘鸣, 张明. 电力工程变电运行的安全技术及管理[J]. 湖北农机化, 2020(18): 126-127.
- [4]陈继超. 电力系统变电运行的安全管理和设备维护探究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(01): 176-177.