

电网变电运行维护技术管理分析

贾 昊

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要：变电运行技术不仅是电网安全运行的基石，更是支撑社会经济发展和智能化转型的核心能力。电网变电运行维护需以技术目标为导向，以核心原则为框架，通过智能化升级与标准化管理，实现安全、高效、经济的可持续发展。其重要性体现在从基础运维到技术创新的全链条，未来需持续优化管理流程并强化新技术应用，以应对更高负荷与复杂场景的挑战。

关键词：电网系统；变电运维；网络图法

随着现代社会经济发展水平与科技发展水平的快速提升，电力系统变电运维管理工作实现运维工作一体化管理。需要结合电力运维管理的需求，寻求更为科学合理的变电运维工作计划编制模式，进一步提升电网变电运维水平，提升电网的安全性和稳定性。

1 变电运行技术的重要性分析

1.1 保障电网安全稳定运行的核心基础。预防系统性故障。变电运行技术通过日常维护和实时监测，可有效预防设备短路、接地故障及过电压问题，避免因设备异常引发的大面积停电或电网波动^[1]。例如，及时处理母线倒闸操作失误或变压器空载异常，能显著降低设备故障率。支撑电力传输可靠性。变电环节是连接发电端与用电端的枢纽，其运行状态直接决定电能分配的效率和可靠性。科学维护设备（如RTU装置）可减少误报和电磁干扰，确保电能稳定输送。

1.2 支撑经济发展与社会需求的关键要素。促进经济高效运转。稳定的电力供应是工业、制造业和服务业发展的基石。变电运行技术通过优化设备维护流程，缩短故障恢复时间，减少因停电导致的经济损失。满足民生用电需求。随着城市化进程加快，居民用电需求持续增长。高效的变电运行技术能提升供电质量，避免电压不稳等问题对日常生活的影响。

1.3 推动电力系统智能化升级的驱动力。技术迭代与自动化应用。变电运行技术融合远程监控、传感器网络等智能化手段，实现设备状态的实时分析与预警，降低人工巡检强度，提升运维效率。例如，远程终端集中管理可快速定位隐患，减少现场操作风险。培养专业人才队伍。变电运行技术对操作人员的专业素质要求较高。通过标准化培训和技能考核，可减少人为操作失误（如违规倒闸、直流回电操作错误），保障电网安全。

1.4 降低运维成本与事故风险的核心手段。预防性

维护策略。建立设备维护档案和故障预案，结合预防性检修（如定期更换老化避雷器），可延长设备寿命，减少突发性维修成本。事故应急与快速恢复。通过继电保护、紧急控制等“三道防线”技术，变电运行系统能在故障发生后快速隔离问题区域，防止事故扩散，缩短停电时间。

2 电网变电运行维护技术目标与原则

2.1 技术目标。提升设备安全稳定运行能力。通过动态监测、预防性维护及状态检修，确保变电设备处于最佳运行状态，降低短路、过电压等故障风险，保障电网安全稳定^[2]。推动运维智能化与自动化。结合远程监控、传感器网络等技术，实现设备实时状态分析、隐患预警及自动化操作，减少人工干预，提高运维效率。优化运维效率与成本控制。推行运维一体化模式，整合运行与检修资源，优化巡检周期和维修流程，降低停电时间和突发性维修成本。保障供电质量与可靠性。确保用户端电压合格率（ $\geq 90\%$ ）、降低线损率（高压 $\leq 10\%$ ，低压 $\leq 12\%$ ），满足城乡用电增长需求。

2.2 核心原则。安全第一原则。严格执行安全标准和操作规程，落实设备维护、倒闸操作等环节的安全措施，保障人员与设备安全。预防为主原则。通过定期巡视、设备监测及事故分析，提前发现隐患并制定预案，减少突发故障对电网的冲击。标准化作业原则。遵循国家技术规范和行业标准，统一设备维护、检修流程及验收要求，避免人为操作失误。维护优化原则。贯彻“应修必修，修必修好”理念，逐步向状态检修过渡，结合带电作业技术减少停电影响。系统协同原则。统筹电网规划与电源布局，强化调度机构统一管理，确保一次设备与二次系统同步建设、技术兼容。管理创新原则。推进运维人员技能培训与激励保障机制，融合新技术（如无线检测、光纤传感）提升管理精益化水平。

3 电网变电运行维护新技术应用分析

3.1 智能化运维技术。AI与大数据驱动故障预测。通过部署传感器实时采集设备运行数据（如温度、振动频率、电流波动等），结合AI算法分析历史数据与实时参数，可提前数周预测变压器、输电线路等关键设备故障风险，降低突发性停机概率。例如，供电局利用AI告警系统3秒内识别变压器渗漏油缺陷，避免停电事故发生。无人机与机器人巡检。无人机搭载高清摄像头和激光雷达建模技术，实现变电站高空设备无死角巡检，替代传统人工攀爬作业。结合机器人自主巡检和红外测温技术，大幅提升设备隐患发现效率，减少运维人员安全风险。

3.2 数字化平台与孪生技术。数字孪生变电站。采用3D建模技术构建变电站数字副本，实现设备状态立体化模拟与运行参数动态仿真。例如，数字孪生智能变电站可精准定位设备异常并生成维修建议，提升运维决策效率。远程集中监控与决策平台。集团开发的“GIS设备检修决策平台”和“磐石”大模型，通过整合设备全生命周期数据，支持远程诊断和自动化操作指令下发，减少现场人工干预。供电局通过全覆盖摄像头与智能终端，实现主网作业面“2人监控替代200人现场巡检”的高效模式。

3.3 自动化与柔性调控技术。继电保护设备远程升级。南方电网首创继电保护设备远程不停电升级技术，通过可信白名单校验、多级阻断异常指令等原创方案，保障升级过程安全可靠，减少倒闸操作30余项。柔性负荷调控与储能集成。应用4G/5G通信基站储能模块，实现市电与储能电池无缝切换，提升电网调峰能力。同时，抽水蓄能电站（如青海哇让电站）与新型液流电池储能技术协同，平抑新能源波动性，保障电网稳定运行。

3.4 绿色与可持续技术。构网型储能系统。结合抽水蓄能、空气压缩储能等技术，增强电网对新能源发电的消纳能力。例如，青海哇让抽蓄电站年减排二氧化碳455万吨，支撑清洁能源可靠消纳。智能传感器与低功耗网络。部署低功耗物联网传感器，实时监测设备能耗与环境参数，优化变电站能效管理，降低线损率。新技术的应用已显著提升电网运维的智能化水平与可靠性。

4 电网变电运行维护管理策略

4.1 标准化与预防性管理。制度完善与流程规范。建立涵盖设备管理、安全监控、应急处置的全流程制度体系，明确职责分工与操作标准，通过设备全生命周期档案记录维护数据，减少人为操作失误。例如，设立变电所安全监控体系，在关键点位部署传感器实时采集设

备状态，实现异常告警自动触发。预防性维护策略。推行“状态检修”模式，结合设备运行参数（如温度、振动、绝缘性能）动态调整维护周期，重点排查老化避雷器、断路器等高危设备隐患，延长设备使用寿命。针对外力破坏风险（如恶劣天气、施工干扰），制定专项排查预案，降低非计划停电概率。

4.2 智能化与集约化管理。远程运维与集中监控。通过变电自动化远程运维主站系统，实现变电站设备远程操作、故障诊断及程序升级，减少现场人工干预。例如，供电局通过远程终端全覆盖，基层班组运维效率提升40%，行车安全风险显著降低。资源集约化整合。整合调度、运维、检修等环节资源，推进“调控一体化”模式。采用集中监控平台统一管理区域内变电站，优化人力配置（如供电局“2人监控替代200人巡检”模式），降低重复性工作强度。

4.3 安全与应急管理强化。安全红线与人员培训。严格执行倒闸操作规范、带电作业安全规程，通过仿真演练和技能考核提升人员操作规范性，减少误操作风险（如直流回电操作错误）。建立安全奖惩机制，对违规行为实施分级追责。应急响应与快速恢复。构建“三道防线”应急体系：继电保护快速隔离故障、紧急控制装置防止事故扩散、黑启动方案缩短恢复时间。定期开展跨区域联合应急演练（如华东电网防汛抗台风演练），提升协同处置能力。

4.4 技术与管理协同创新。智能化监控平台建设。融合数字孪生、AI算法和大数据分析技术，构建设备状态立体化仿真模型，精准定位隐患并生成维修建议。例如，通过红外测温与无人机激光建模技术实现设备无死角监测。绿色运维与能效优化。部署低功耗物联网传感器监测设备能耗，优化变电站通风、照明等辅助系统能效，降低线损率。

5 电网变电运行维护技术管理挑战与解决方案

5.1 技术管理挑战。设备监控与隐患发现不足。传统人工巡检存在漏检、效率低问题，难以实时监测设备状态（如绝缘子污秽度、电缆接头温度），导致设备过热或老化隐患难以及时发现。智能变电站因设备集成度高，光学传感器对温度敏感，光纤可靠性低等问题加剧了运维难度。安全管理与制度执行薄弱。部分运维人员安全意识不足，依赖经验操作导致违规行为（如未按规程执行倒闸操作），引发误操作风险。管理制度可执行性差，安全责任划分模糊，难以约束不规范行为。外部环境及设备兼容性问题。偏远地区输电线路受覆冰、泥石流等外力破坏风险高，无人区巡检难度大，车辆难以

通行导致隐患发现滞后。老旧设备与新技术（如数字孪生、远程监控）兼容性不足，阻碍智能化升级。数据安全与通信稳定性瓶颈。远程运维依赖5G/光纤网络，偏远地区通信延迟或中断影响实时监控，数据加密不足易引发信息泄露风险。

5.2 解决方案。智能化技术应用。无人机与机器人巡检：部署无人机搭载高清摄像头与激光雷达（LiDAR），实现输电线路三维建模与缺陷AI识别，效率提升3倍以上。变电站内使用巡检机器人自主读取仪表数据，替代人工例行检查。**AI预测性维护：**基于设备历史数据与实时参数（温度、振动频率），构建预测模型提前预警故障，如深圳供电局AI系统3秒识别变压器渗漏油缺陷。**运维体系优化。**远程集中监控平台：整合视频监控、环境传感器与设备状态数据，实现“调控一体化”模式（如供电局“2人监控替代200人巡检”）。**数字孪生与仿真技术：**构建变电站三维模型动态模拟设备运行，精准定位异常并生成维修工单，缩短故障响应时间。**制度与人员管理强化。**安全规范与培训机制：建立倒闸操作、带电作业等标准化流程，通过仿真演练提升人员操作规范性。实施安全奖惩制度，对违规行为分级追责。**设备全生命周期管理：**完善设备技术台账，记录运行与维修数据，制定预防性维护计划（如“状态检修”替代定期检修）。**外部风险应对与资源整合。**恶劣天气预警与应急响应：部署气象传感器实时监测风速、湿度，建立覆冰区段专项排查预案，提前加固杆塔与地线。**通信网络冗余设计：**在偏远地区采用LoRa/NB-IoT低功耗网络与5G混合组网，保障数据传输稳定性。

6 电网变电运行维护未来发展趋势与展望

6.1 智能化运维全面渗透。AI与大数据深度赋能。基于设备全生命周期数据构建AI预测模型，实现变压器、断路器等高危设备的故障预警周期缩短至数小时级，精

准度超95%。无人化作业体系普及。无人机集群巡检与变电站机器人协同成为常态，覆盖80%以上例行巡检任务，人力成本降低50%。远程程序升级技术（如继电保护设备不停电升级）减少人工倒闸操作90%以上。

6.2 新能源融合驱动技术革新。分布式能源与储能协同。构网型储能系统（如抽水蓄能、液流电池）广泛接入电网，支撑新能源波动平抑，预计2030年新能源消纳能力提升至35%以上。微电网与虚拟电厂技术实现局部区域能源自治，减少主网依赖。数字孪生与多源数据整合。构建“物理电网+数字镜像”的孪生系统，动态模拟设备运行状态与外部环境（如极端天气）的交互影响，实现故障仿真精度达99%。

6.3 绿色低碳与能效优化。低功耗设备与节能改造。推广智能传感器与低功耗通信技术（如NB-IoT），变电站辅助系统能耗降低30%。老旧设备替换为超导变压器、环保型GIS设备，碳排放强度下降25%。需求侧响应与柔性调控。依托智能电表与区块链技术建立用户侧负荷调节机制，通过电价信号引导工商业用户错峰用电，降低峰值负荷压力。

6.4 管理模式与人才结构升级。“调控检”一体化平台。整合调度、运维、检修资源，通过集中监控平台实现跨区域设备状态协同分析，应急响应时间压缩至10分钟内。复合型人才需求激增。运维人员需掌握AI算法解读、新能源设备维护等技能，电力企业通过虚拟仿真培训系统提升人员数字化能力，培训效率提高60%。

总之，通过融合智能化技术、优化运维体系、强化制度执行与风险应对，电网变电运行维护可有效提升设备可靠性、降低运维成本，实现安全与效率的双重目标。

参考文献

- [1]李婧.浅谈现代电网变电运维技术与管理.2022.
- [2]刘宏宇.分析电网变电运行维护技术管理探讨.2023.