

电力系统变电运行设备维护研究

王 鑫

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要: 电力系统变电设备维护需融合技术升级与管理创新,通过智能化监测、预防性维护和制度优化提升设备可靠性,降低运维成本。未来研究可进一步探索人工智能在故障预测中的深度应用。新技术在变电运维中的应用呈现智能化、远程化与模块化趋势,典型案例涵盖数字孪生、设备改造、智能巡检等方向,显著提升运维效率与供电可靠性。

关键词: 电力系统; 变电运行设备; 维护技术

由于设备老化、运行环境恶劣等原因,变电运行设备会出现各种故障,对电力系统的运行产生不良影响。基于设备维护概念和设备维护的重要性,分析电力系统变电运行设备维护的特点,总结设备维护过程中存在的问题,并重点分析设备维护技术,以提高设备的可靠性和安全性,降低维护成本^[1]。

1 变电运行设备维护的重要性

1.1 预防设备故障与重大事故。消除设备运行隐患。长期运行的设备易因灰尘、油污积累导致散热不良和绝缘性能下降,定期清洁维护(如带电水冲洗技术)可有效减少短路、接地故障风险。避免连锁性事故。维护不足可能导致设备缺陷持续恶化,引发火灾、爆炸等重大安全事故,甚至造成人员伤亡和全网瘫痪。

1.2 延长设备使用寿命与经济效益。减缓设备老化。通过定期润滑、紧固等基础维护,以及状态监测技术,可延缓变压器、母线等核心设备的老化进程,降低更换成本。提升资源利用效率。精细化维护策略结合全生命周期管理,减少设备非计划停运时间,提高电网运行的经济性。

1.3 保障供电质量与连续性。稳定电网运行参数。设备维护可避免因操作电源故障、跳闸等问题导致的电压波动,确保电力传输稳定性。支持高负荷需求。通过智能化运维手段(如云平台数据监测)优化维护周期,满足社会用电量增长对设备高负荷承载能力的要求。

1.4 强化电网安全防护能力。防御外部环境威胁。针对雷击、极端天气等外力干扰,定期检测避雷器性能和维持设备绝缘水平,可显著降低过电压故障概率。规范人员操作安全。标准化作业流程与安全培训结合,减少人为误操作风险,从源头保障运维人员及电网安全。

1.5 推动智能化运维转型。数据驱动决策优化。整合设备运行数据并分析历史故障规律,为制定预防性维护

策略提供科学依据,提升故障响应效率。技术替代高危作业。智能巡检机器人、无人机等设备的应用,降低人工高空、带电作业风险,实现安全与效率双提升。通过系统化维护管理,变电设备的安全性、可靠性和经济性得以全面提升,为现代电网的可持续发展奠定基础。

2 变电运行设备维护现状分析

2.1 管理制度与执行层面。安全制度形式化与责任模糊。部分电力企业存在安全管理制度可执行性差、岗位职责划分不明确等问题,导致安全培训流于“口号化”,实际隐患排查和风险管控效果不足。维护流程标准化不足。传统运维依赖人工经验,缺乏统一的标准化作业流程,部分企业未建立全生命周期管理体系,老旧设备更新滞后,高故障率区域管控薄弱。

2.2 技术应用与智能化水平。传统监测手段局限性。多数变电运维仍以人工巡检和定期检修为主,红外测温、局部放电检测等技术覆盖率不足,难以及时发现设备隐性缺陷(如真空断路器老化、互感器过热等)。智能化转型不均衡。尽管兴义供电局等试点单位已实现变电自动化远程运维实体化运转,但全国范围内智能运维技术(如云平台、无人机巡检)普及率较低,数据驱动的预防性维护策略尚未全面推广。

2.3 设备与外部环境挑战。设备老化与高负荷运行风险。部分变电站设备长期高负荷运转,绝缘性能下降、散热不良等问题突出,且新型智能设备(如光纤互感器)存在温度敏感性和可靠性不足的缺陷。极端环境与通信网络问题。雷击、汛期洪涝等自然灾害加剧设备损耗,同时智能变电站依赖的通信网络易因中断或延迟导致数据采集异常,影响故障诊断效率。

2.4 人员能力与资源配置。技术人才短缺与培训不足。运维团队普遍缺乏智能设备操作和数据分析能力,现有培训模式单一,难以适应无人值守变电站、智能巡

检机器人等新技术要求。基层运维压力大。基层班组面临变电站数量激增、运维任务繁重等问题，传统现场作业模式耗时且存在行车安全风险，亟需通过远程运维技术减负。

2.5 优化方向与实践案例。远程运维与云平台应用。供电局通过全覆盖远程运维终端实现自动化信息精准管理，减少70%的现场作业量，为其他地区提供可复用的技术路径。动态化风险管控。区供电公司结合天气变化优化巡检方案，针对汛期线路加固设备并实施预防性维修，有效降低外力破坏导致的停电事故。当前变电运行设备维护仍面临制度、技术、环境等多维度挑战，亟需通过智能化升级、标准化管理及人员能力提升实现系统性优化。

3 变电运维管理存在的主要问题

3.1 安全管理制度执行不力。制度可执行性差。部分企业安全管理制度流于形式，责任划分模糊，导致人员操作缺乏有效约束。例如，倒闸操作票填写不规范可能直接引发设备状态切换失误。标准化流程缺失。设备巡视、缺陷管理等流程缺乏统一标准，运维质量受人为经验影响较大。部分企业未严格执行设备定期切换、巡视制度，隐患整改效率低下。

3.2 人员能力与培训短板。安全意识薄弱。部分运维人员对安全管理存在抵触心理，违规操作频发（如依赖经验盲目维修），埋下事故隐患。技能转型滞后。面对智能巡检机器人、远程运维平台等新技术，运维团队普遍缺乏数据分析能力和设备操作技能，培训内容与实际需求脱节。

3.3 技术应用与智能化瓶颈。监测手段落后。多数企业仍依赖人工巡检，红外测温、局部放电检测等技术覆盖率不足，隐性缺陷难以及时发现。数据驱动能力不足^[2]。运维云平台应用不普及，设备运行数据未有效整合分析，故障预测与预防性维护策略缺乏科学支撑。

3.4 设备维护与资源配置缺陷。维护时效性差。老旧设备更新滞后，高负荷运行导致绝缘性能下降、散热不良等问题加剧，且备件库存管理不合理延长故障修复周期。信息化建设滞后。部分企业未建立全生命周期管理体系，运维任务派发、进度跟踪仍依赖传统人工模式，管理效率低下。

3.5 外部协同与风险管控漏洞。环境风险应对不足。雷击、极端天气等外部威胁缺乏动态化防控机制，设备防雷接地装置维护不及时可能引发连锁故障。跨部门协作低效。维护人员与调度部门沟通不畅，事故处理过程中信息传递延迟，影响应急响应速度。变电运维管理需

从制度完善、技术升级、人员培养等多维度协同优化，重点强化标准化作业流程、智能化监测手段及数据驱动决策能力。

4 变电运行设备维护技术与策略

4.1 智能化监测与诊断技术。智能传感与实时监控。通过部署温度传感器、湿度传感器及电流/电压互感器，实现变压器、开关柜等核心设备的运行参数动态采集，结合云平台构建设备健康度评估模型，精准识别局部放电、过热等隐性缺陷。故障预测与预警。基于历史数据建立故障预警模型，例如通过分析变压器负载率与温度曲线，提前预测绝缘老化风险并生成维护建议，降低非计划停运概率。

4.2 预防性维护技术应用。带电水冲洗与绝缘维护。对高盐雾、粉尘环境下的设备采用带电水冲洗技术清除污秽，配合绝缘性能检测（如介质损耗测试），有效延缓设备老化并降低短路风险。关键设备定期切换测试。对UPS、EPS等备用电源开展周期性切换测试，验证不同运行模式下的可靠性，确保极端工况下的供电连续性。

4.3 缺陷处理与应急策略。标准化缺陷分级管理。将设备缺陷分为一般、重要、紧急三级，优先处理综保告警、断路器拒动等高危问题，并通过闭环管理机制跟踪整改进度。故障快速隔离与修复。应用远程控制技术实现故障设备电源快速切断，结合备件库存优化策略缩短修复周期，避免故障范围扩大。

4.4 环境适应与安全防护技术。极端天气动态防护。针对雷击、洪涝等灾害，强化避雷器接地电阻检测及排水系统维护，汛期前对杆塔基础加固以降低外力破坏风险。高负荷设备散热优化。对长期高负载运行的变压器加装智能风冷系统，实时调节散热效率，防止因温升过高导致的绝缘失效。

4.5 管理策略优化方向。全生命周期管理体系。建立设备从投运到退役的全程档案，结合运行数据制定差异化维护计划（如老旧设备缩短检测周期），提升资源利用效率。人员技能与协作强化。开展智能设备操作、数据分析专项培训，推行“运维-调度”跨部门协同机制，缩短事故响应时间并减少人为误操作。

4.6 典型案例与实践。精准维护降本增效：某企业通过无功补偿装置优化，将配电室有功电能利用率从70%提升至90%，年节约电力成本超百万元。远程运维减负提效：智能化配电站采用云平台实现设备状态远程监控，减少70%现场作业量，同时故障处理效率提升40%。变电运行设备维护需融合智能监测、预防性技术与管理创新，通过数据驱动决策与标准化流程，实现安全性与经

济性的双重突破。

5 新技术在变电运行设备维护中的应用

5.1 数字孪生与远程运维技术。智能变电站镜像调试系统。220千伏高何变电站通过构建自动化设备的数字孪生体,实现虚实结合的远程运维。调度主站人员可基于孪生体精准诊断设备状态,远程验证二次系统调试功能,减少70%现场作业量,同时提升二次系统可用率。

5.2 模块化设备改造与监测技术。施耐德MVnex模块化开关柜。某工业园区采用模块化中压开关柜替换老化设备,通过预留传感器接口接入能效管理平台,实现温度、局部放电等数据实时监测。投运后2年内非计划停电事件清零,故障响应时间缩短60%。

5.3 继电保护与通信技术升级。继电保护设备远程不停电升级。110千伏逸秀变电站完成全国首个继电保护设备远程升级试点,利用可信白名单技术、异常命令阻断技术保障升级安全性,减少30余项倒闸操作,降低电网运行风险。4G/5G基站柔性负荷调控。社区通过I型智能柔性调控终端实现通信基站市电与储能电池无缝切换,负荷柔性调控与供电连续性同步优化,突破传统运维响应瓶颈。

5.4 智能巡检与预测性维护。电力运维云平台应用。AcrelCloud-1000平台通过边缘计算网关整合智能仪表数据,实现电能实时监测与设备精益管理,帮助用户减少故障停电时间,运维效率提升40%。三维可视化与机器人巡检。某智能变电站通过三维可视化技术结合高清视频、机器人前端采集设备,优化运维路径规划,降低高温、高粉尘环境下的巡检安全风险。

5.5 极端环境适应性技术。高海拔带电作业技术完成海拔4002米的500千伏超高压线路带电作业,突破高海拔环境工具运输与作业窗口期限制,保障电网连续运行。

6 电力系统变电运行设备维护未来发展趋势

6.1 智能化运维技术深度渗透。数字孪生与远程监控。基于物联网技术构建设备数字孪生体,实现变电站全生命周期动态仿真与远程诊断。例如,北斗定位与“电网一张图”系统结合,可提升杆塔坐标数据治理效

率4.5倍,支持精准巡检与故障定位。AI驱动的预测性维护。通过深度学习算法分析设备运行数据(如局部放电、温度波动),提前预测绝缘老化、机械磨损等隐患,减少非计划停运事件。

6.2 模块化与预制化设备普及。标准化设备改造。模块化开关柜、预制舱式变电站将广泛应用,缩短现场安装周期,同时预留传感器接口支持能效管理平台接入。即插即用型功能单元。继电保护装置、无功补偿设备向小型化、集成化发展,支持远程不停电升级与柔性调控,降低电网运行风险。

6.3 绿色低碳技术融合。新能源友好型设备适配。针对风电、光伏等新能源波动性特点,开发宽范围调压变压器与储能协同控制系统,提升电网消纳能力。环保材料与节能设计。推广无氟绝缘气体、低损耗非晶合金变压器等设备,结合智能风冷系统优化散热效率,降低碳排放。

6.4 全链路数据驱动决策。运维云平台深度应用。整合边缘计算网关与数据中台资源,实现电能质量监测、故障工单派发等全流程数字化管理,运维效率提升40%以上。跨部门数据协同机制。构建“调度-运维-用户”实时数据共享体系,缩短异常事件响应时间(如主动抢修服务工单推送机制)。

6.5 极端环境适应性提升。高海拔/高寒区域技术突破。研发轻量化带电作业工具与耐低温材料,延长极端环境下的设备维护窗口期,保障电网连续运行。灾害动态防御体系。结合气象数据与设备状态监测,建立雷击、洪涝等灾害的智能预警与自动化应急隔离机制。

总之,未来变电设备维护将呈现“智能化主导、模块化提速、数据贯通、绿色转型”四大特征,通过技术融合与标准化体系重构,实现安全、经济、低碳的协同发展目标。

参考文献

- [1]汤清.电力系统变电一次设备状态检修技术.2023.
- [2]钱宇翔.电力系统变电运行安全管理与设备维护技术分析.2022.