

基于大检修前提的变电运行维护研究

张泽宇

内蒙古电力(集团)有限责任公司包头供电分公司 内蒙古 包头 014200

摘要: 为了保证电网的安全稳定运行,保证社会生产和生活用电的安全,国家已经推出了大检修系统的建设计划,并将其逐渐地推动运营和维修的集成,其中包含了倒闸操作、维护性检修、设备巡视检查等方面,对各自的职责进行了划分,在保证电网的安全和可靠方面发挥着更大的作用。

关键词: 变电站;电力系统;运行维护;一体化模式

变电站是电力系统的重要组成部分,为了保证变电站的稳定和安全,必须强化变电站的各种设备的维修和维护,而现有的变电站运行维护方式比较单一,比较落后,因此,对变电站的运行和维护方式进行研究,可以有效地提升运行的效率和质量。

1 大检修在变电运行中的意义

1.1 提升设备可靠性,保障电网安全。隐患精准治理:通过智能化监测手段(如无人机巡查、红外测温、局部放电检测)实时诊断设备状态,实现隐患早发现、早处置,降低故障风险。消除潜在缺陷:集中检修可全面排查设备运行状态,彻底解决长期运行中积累的隐患,显著提升供电可靠性。

1.2 优化资源配置,降低运维成本。人力集约化:整合运维与检修团队,打破传统分工界限,减少冗余岗位,释放劳动力资源。减少重复停电:采用状态检修模式,基于设备实际工况制定检修计划,避免固定周期检修导致的资源浪费。

1.3 提高运维效率,适应电网发展需求。流程高效协同:推行“运维检修一体化”流程,缩短故障响应时间,检修效率提升20%-30%。技术驱动决策:依托智能巡检机器人、物联网监测等工具,构建数据驱动的运维体系,支持大规模变电站集群管理。

1.4 促进管理创新,推动行业转型。模式创新:通过标准化、集约化管理,明确责任边界,解决传统模式中职责不清、效率低下的问题。^[1]适应电力改革:结合电力市场发展需求,探索灵活高效的运维机制,为电网经济性和可持续性提供支撑。

1.5 关键挑战与应对。技术配套:需深化人工智能在故障预测、风险诊断中的应用,强化智能化技术对运维的支撑。人员能力:加强运维人员多技能培训,覆盖设备操作、带电检修及应急处理等全场景需求。大检修体系通过上述多维度的优化与创新,已成为提升变电设备

运行质量、保障电力供应稳定的核心手段,并为电力行业向集约化、智能化转型提供了实践路径。

2 变电运行维护现状分析

2.1 设备与运维环境问题

①设备老化与故障频发。大量变电设备已投运多年,老化问题突出,故障率逐年上升,尤其在智能变电站中,新型设备(如光学互感器、光纤组件)对温度敏感,可靠性不足。老旧设备缺乏系统化更新机制,部分区域仍依赖人工巡检,故障定位效率低。

②环境因素加剧设备损耗。变电站常暴露于高温、高湿、强腐蚀性气体等恶劣环境,加速设备绝缘劣化和金属部件锈蚀。夜间运维中,照明不足、人员疲劳等因素导致操作失误率显著升高(占比约46%)。

2.2 技术应用与管理短板

①智能化水平不足。传统变电运维依赖人工操作,智能化工具(如智能巡检机器人、物联网监测)覆盖率低,数据采集异常频发,影响状态监测和故障诊断。通信网络稳定性不足,智能变电站因网络中断或延迟导致控制指令失效,需依赖人工应急干预。

②管理制度与执行缺陷。运维标准缺乏针对性,夜间操作、高风险场景等特殊环节缺乏细化规范,责任边界模糊。安全管理流于形式,部分班组仅通过“做记录”应付检查,设备维护质量考核体系不完善。

2.3 人员能力与培训瓶颈

技能与安全意识薄弱。运维人员技术水平参差不齐,部分人员缺乏多场景操作能力(如带电检修、应急处理),漏检、误操作现象频发。安全意识培训效果差,部分员工仍存在“重进度、轻安全”的麻痹思想,违规操作未得到有效遏制。

3 大检修前提下的变电运行维护创新实践

3.1 管理模式创新

①运维检修一体化。整合运行管理、设备维护及检

修团队，建立“运维小组”统一负责设备巡查、倒闸操作及带电检修，打破传统分工壁垒，减少重复性劳动。通过集约化管理释放冗余劳动力，优化人力资源配置，运维成本降低15%-20%。

②标准化与责任明晰。制定统一运维流程规范，覆盖设备清理、养护、测试等全环节，明确责任边界，减少管理盲区。

3.2 技术创新

①智能化监测与预测性维护。应用无人机巡检、红外测温及局部放电检测技术，实现设备隐患精准定位与实时监测，故障率降低25%-30%。依托大数据分析历史运行参数，预测设备故障风险（如变压器油温异常、绝缘性能下降），提前数周制定预防性维护计划。

②人工智能辅助决策。采用深度学习模型分析设备故障特征，快速定位故障类型并提供维修建议，故障诊断效率提升数十倍。利用图像识别技术处理无人机巡检影像，识别输电线路异物搭挂、导线断股等缺陷，准确率超90%。

3.3 流程优化创新

①分段检修与带电作业。通过分段检修策略减少停电范围，结合临时旁路供电技术压缩停电时间，春检总工期缩短15%。推广带电检修技术，避免非必要停电，保障能源供应连续性。

②数字化工具赋能。构建“隐患坐标数据库”，基于地理信息系统（GIS）标注设备缺陷位置，提升检修针对性。引入智能巡检机器人替代人工巡查，覆盖复杂环境（如高腐蚀区域），单次巡检效率提升50%以上。

3.4 人员能力与制度创新

①多技能人才培养。推行“运维+检修”复合型人才培训，覆盖设备操作、带电作业及智能工具应用等全场景需求。通过实战化演练提升应急处理能力，减少漏检、误操作等安全风险。

②动态考核与激励机制。建立设备全生命周期管理考核体系，将检修质量、故障响应速度等指标纳入绩效评价。采用“安全积分制”强化责任意识，遏制违规操作行为。

3.5 未来发展方向

深化智能技术融合：探索区块链技术保障设备数据真实性，结合数字孪生构建虚拟仿真运维场景。绿色检修实践：推广环保型材料与低能耗设备维护工艺，减少检修过程碳排放。

4 变电运行维护一体化管理措施

4.1 组织结构调整与职责整合

①组建运维检修一体化团队。整合运行与检修职能，打破专业壁垒，减少重复性工作，提升跨部门协作效率。明确运维站值班职责，采用“四班两运转”模式，涵盖倒闸操作、设备巡视、应急处理等全流程管理。

②建立远程运维中心。应用自动化远程运维系统，覆盖多站集中管理，降低现场作业频率，减少行车安全风险。依托主站系统实现变电站自动化信息远程维护，缩短故障响应时间。

4.2 流程标准化与智能化优化

①统一运维标准与作业规范。制定设备全生命周期管理标准，明确设备养护、测试、验收等环节技术要求。细化高风险场景操作规范（如夜间作业），强制实施双人互核机制，降低人为失误率。

②智能化技术深度应用。部署无人机巡检、智能机器人等工具，替代人工完成高腐蚀区域、复杂环境设备巡查，单次效率提升50%以上。构建数据驱动的预测性维护体系，通过历史参数分析提前识别设备隐患（如绝缘劣化、油温异常）。

4.3 技术支撑与系统升级

强化通信网络可靠性，优化智能变电站通信架构，采用冗余通道设计，保障控制指令实时传输，减少网络中断导致的运维延误。应用区块链技术确保设备监测数据真实性，支持远程运维决策。构建隐患坐标数据库。基于GIS系统标注设备缺陷位置，形成动态更新的隐患地图，提升检修精准度。

4.4 人员能力与安全保障

①复合型技能培训机制。开展“运维+检修”多技能认证培训，覆盖智能设备操作、带电作业等场景，减少误操作风险。定期组织应急演练（如设备故障模拟），强化团队协作与快速处置能力。

②安全责任与考核体系。推行“安全积分制”，将违规操作与绩效考核挂钩，遏制麻痹思想。建立设备维护质量追溯机制，倒逼检修责任落实，避免形式化记录。

4.5 持续改进方向。深化绿色运维：推广环保型设备维护工艺，减少检修过程碳排放。探索数字孪生应用：构建虚拟仿真场景，优化运维策略预演与验证。

5 变电运行维护人员培训与技能提升方法

5.1 分层培训体系构建

（1）理论结合实操的双轨教学。采用“理论讲解+案例分析+现场演练”模式，通过倒闸操作模拟、设备巡视标准化流程演练等实操环节强化技能应用，同步开展两票填写纠错与点评，提升规范操作能力。推行“3个月理论强化+7天封闭式实操特训”循环模式，系统性提升复

合型技能水平。

(2) 分层次培训策略。针对不同人员类型制定差异化培训方案: 标准型人员: 重点开展技能提升培训, 强化缺陷识别、应急处理等能力; 拔尖型人员: 侧重经验积累与潜能开发, 参与复杂场景技术攻关; 入门型人员: 从基础理论入手, 逐步过渡到实操技能培训。

5.2 仿真训练与场景模拟

①搭建仿真实训平台。利用退役设备或虚拟仿真技术构建变电站仿真实训站, 覆盖35kV开关柜、直流屏等设备操作演练, 支持上岗证考培、多职能选拔等场景。在微型培训室模拟部件更换、改造流程, 提前预演施工方案, 提升作业可靠性。

②强化应急实战演练。设置突发故障场景(如断路器六氟化硫压力过低、设备异常放电), 通过“口述模拟+团队协作”提升快速响应能力; 结合季节特点开展防冰冻、反事故演练, 增强高负荷环境下的处置能力。

5.3 动态考核与激励机制

①多维评价体系。建立“安全积分制”, 将违规操作、隐患排查质量与绩效考核挂钩, 强化责任意识; 通过理论考试、实操评分、团队协作等多维度评估培训效果, 定期复盘重点问题。

②长效激励机制。设立技能竞赛奖项, 鼓励员工参与技术比武和创新课题研究; 将培训成果与岗位晋升、薪酬调整联动, 激发学习主动性。

5.4 分类培训与专项提升

专项技能强化。针对直流开关柜故障、智能设备兼容性问题开展专项培训, 覆盖故障诊断、维护保养等全流程; 引入新技术专题学习(如5G通信、云计算在变电运维中的应用), 适应智能化设备升级需求。^[2]政企联动培训。探索“电力网格员+政务网格员”联合培训模式, 提升跨部门协作与服务响应效率。

5.5 知识共享与持续提升

①经验传承机制。推行“老带新”师徒制, 通过现场教学、故障复盘促进隐性知识传递; 建立内部案例库, 汇总典型缺陷处理方案供全员学习。

②持续学习文化。组织技术沙龙、行业动态分享会, 跟踪国内外变电技术发展趋势; 利用线上平台提供微课学习资源, 支持碎片化知识补充。通过上述方法, 可实现变电运维人员从基础技能到高阶能力的阶梯式提升, 同时推动团队协作效能与安全管控水平全面优化。

6 变电运行维护模式优化建议

6.1 技术驱动型运维模式升级

①推广自动化远程运维体系。建设集中式远程运维

中心, 通过主站系统覆盖多站自动化信息管理, 减少人工现场操作频率, 降低行车安全风险与运维成本。部署边缘计算网关实现本地数据预判, 减少无效告警数量(如某案例中无效告警减少73%)。

②深化智能化工具应用。引入无人机巡检、智能机器人等设备, 替代人工完成高腐蚀区域、复杂环境巡查, 单次效率提升50%以上。应用声学成像技术检测局部放电, 缩短隐蔽缺陷维修周期(某案例维修周期缩短60%)。

③构建预测性维护体系。基于大数据分析历史运行参数, 预测设备故障(如变压器油温异常、绝缘劣化), 提前制定预防性维护计划。采用物联网(IoT)传感器网络实时监控设备健康状态, 结合机器学习算法优化维护周期, 降低非计划停机时间。

6.2 管理流程标准化与精益化

①全生命周期管理标准化。制定设备选型、运行、维护到退役的全周期标准, 明确养护、测试、验收等技术要求, 降低故障率(某500kV变压器故障率下降45%)。建立动态巡检周期调控机制, 根据环境变化指数调整检测频率, 减少冗余巡检(某案例年巡检次数减少24次)。

②强化安全与责任机制。细化高风险场景操作规范(如夜间作业), 强制实施双人互核机制, 降低人为失误率。推行“安全积分制”, 将违规操作与绩效考核挂钩, 遏制麻痹思想和形式化记录。

③优化检修策略。推广分段检修与带电作业技术, 减少停电范围和时间(春检总工期缩短15%)。采用基于状态的维护(CBM)策略, 根据设备实际运行状态而非固定周期安排维护, 延长设备寿命。

6.3 人员能力与组织模式创新

①复合型人才培养。建立“运维+检修”多技能认证体系, 覆盖智能设备操作、带电作业等场景, 减少误操作风险。定期开展应急演练(如设备故障模拟), 提升团队协作与快速响应能力。

②组织架构集约化。整合运行与检修职能, 组建一体化运维小组, 打破专业壁垒, 释放冗余劳动力(运维成本降低15%-20%)。探索“电力网格员+政务网格员”政企联动模式, 提升服务响应效率。

6.4 数字化与绿色化协同发展

①数字孪生技术应用。构建虚拟仿真场景预演运维策略, 优化设备故障处理流程, 降低试错成本。利用大模型辅助生成供电方案、分析用能数据, 提升服务精准度。

②绿色节能优化。控制主变负载率在65%-90%区

间，减少油温波动导致的能耗（某案例年损耗减少32万千瓦时）。推广环保型设备维护工艺，减少检修过程碳排放。通过技术赋能、流程优化与组织变革，变电运行维护模式可逐步实现从“被动抢修”到“主动预防”、从“分散管理”到“集约协同”的转型升级，为电网安全高效运行提供系统性支撑。

总之，大检修前提下变电运行维护一体化管理模式，明确了管理目标，强化运维管理标准建设以及装备

管理、风险防控等事项，实施激励机制，使运维工作积极性提高，实现变电运行稳定、高校开展，是一种值得尝试与完善的方法。

参考文献

[1]刘小波.“大检修”体系下的变电运行维护一体化管理新模式.2021.

[2]李浩宇.基于大检修前提的变电运行维护探讨.2023.