

老旧变电站设备升级改造中的运行过渡 方案设计与风险防控

张明阳 任杰 高松

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要:老旧变电站设备升级改造面临设备性能提升、智能化及能效优化等需求。本文提出运行过渡方案需以保障供电可靠性为核心,兼顾成本控制与效率提升目标。通过系统的风险识别与分析,构建涵盖设备、操作、电网安全、环境与管理的多维度风险防控体系。实践表明,该方案可实现改造工程“安全零事故、质量零缺陷、进度零延误”,为智能电网建设提供可复制的改造范式。

关键词:老旧变电站;设备升级改造;运行过渡方案;风险防控

引言:随着我国电网规模的持续扩张,大量服役超20年的老旧变电站逐渐暴露出设备老化、技术滞后、能效低下等问题,设备故障率显著高于新建变电站,严重威胁供电可靠性与电网安全稳定运行。在此背景下,老旧变电站设备升级改造成为电网升级的重要环节。然而,变电站作为电力系统的关键节点,改造过程中需维持连续供电,如何制定科学的运行过渡方案,有效防控各类潜在风险,成为电网企业面临的核心挑战。本文结合老旧变电站改造的普遍需求与共性问题,系统探讨运行过渡方案的设计思路与风险防控策略。

1 老旧变电站设备升级改造核心需求与过渡目标

1.1 老旧变电站设备升级改造典型场景与需求

当前老旧变电站普遍存在三大核心问题:一是设备性能衰减,主变压器空载损耗偏高,配电装置结构老化,互感器测量精度不足,难以满足现代电网的运行要求;二是智能化水平低,缺乏完善的状态监测与远程控制功能,依赖人工巡检,运维效率低下;三是能效指标落后,无功补偿配置不合理,功率因数偏低,线路损耗较大。针对这些问题,升级改造需求集中在三方面:设备性能提升方面,需更换老旧主变压器、开关柜、互感器等核心设备,将测量精度从0.5级提升至0.2级,降低设备故障率;智能化改造方面,构建分层分布式自动化系统,引入巡检机器人、在线监测装置等智能设备,提升运维自动化水平;能效优化方面,采用新型冷却系统降低变压器温升,配置动态无功补偿装置,将功率因数从0.85提升至0.95以上,减少线路损耗。

1.2 运行过渡方案核心目标

运行过渡方案需实现三大核心目标:一是保障供电可靠性,通过临时供电设施、负荷转移技术等手段,将

改造期间的负荷转移率控制在10%以内,用户平均停电时间压缩至0.5小时/户以下,确保核心用户与民生用电不受影响;二是控制改造成本,采用全生命周期成本分析法,综合考量设备购置、施工建设、运行维护等全流程成本,例如新型非晶合金变压器虽初期投资较高,但长期能耗成本优势显著,可实现全生命周期成本最优;三是提升改造效率,借助BIM技术优化施工流程,采用预制舱式设备减少现场安装工作量,将整体工期缩短20%-30%,加快变电站恢复正常运行的速度^[1]。

2 老旧变电站设备升级改造运行过渡方案设计

2.1 过渡方案设计原则

方案设计严格遵循“安全优先、技术可行、经济合理、协同高效”四大原则。安全优先原则要求所有过渡措施均以保障电网安全与施工安全为前提,通过风险评估确定施工顺序,将高风险作业安排在负荷低谷时段,降低电网运行压力;技术可行原则强调方案需适配变电站的设备类型、电网结构与负荷特性,确保所采用的临时供电、负荷转移等技术成熟可靠;经济合理原则要求优化临时设施配置,避免过度投入,在满足安全与功能需求的前提下控制改造成本;协同高效原则注重施工单位、运行单位、设备供应商之间的协同配合,建立高效沟通机制,确保改造各环节无缝衔接。

2.2 改造前期准备阶段过渡方案

前期准备工作是过渡方案顺利实施的基础,主要包括三项核心任务:一是负荷预测与转供规划,基于近三年的负荷数据,采用ARIMA时间序列模型预测改造期间的负荷峰值,据此规划临时联络线、备用电源等负荷转供路径,确保负荷转移有序进行;二是设备状态评估,通过红外热成像检测、油色谱分析、绝缘测试等多种手

段,全面评估老旧设备的健康状态,识别潜在故障隐患,优先对存在重大风险的设备进行改造更换;三是施工资源调配,建立设备供应商准入与评价机制,要求核心设备供应商在施工区域周边设立备品备件库,保障设备供应及时,同时合理调配施工人员、机械设备,制定详细的施工进度计划,明确各环节时间节点。

2.3 核心设备改造阶段运行过渡方案

核心设备改造阶段采用“双保险”过渡策略:一是实施“旧设备带电运行+新设备并联调试”模式,在更换断路器、主变压器等核心设备时,先通过临时跨接装置将新旧设备并联,经核相试验、性能测试确认无误后,逐步将负荷转移至新设备,实现新旧设备的平滑过渡;二是构建虚拟仿真验证体系,利用RTDS实时数字仿真系统模拟各类故障场景,对新安装的保护装置、控制系统进行逻辑验证与定值调试,将保护误动率降至0.05%以下,确保设备投运后能准确响应电网故障,避免大面积停电事故^[2]。

2.4 改造后期调试与恢复阶段过渡方案

改造后期调试阶段严格执行“三查三测”标准:“三查”包括检查新装设备的安装位置与参数设置是否符合设计要求、检查接线是否正确规范、检查保护逻辑是否匹配电网运行需求;“三测”包括带负荷试验验证CT极性与变比准确性、绝缘测试确保设备绝缘性能达标、动态试验测试设备在不同工况下的运行稳定性。同时,采用智能算法优化无功补偿装置的投切策略,提升电压调节精度,将电压合格率提升至99.8%以上。恢复送电阶段实行“三级验收”制度,由施工单位自检、监理单位复检、运行单位终检,确保所有改造内容均符合规范要求,验收合格后方可投入正式运行。

3 老旧变电站设备升级改造运行过渡风险识别与分析

3.1 风险识别方法

采用“FMEA+FTA”联合分析法开展全面风险识别:故障模式影响分析(FMEA)从设备、操作、环境三个维度,梳理各类潜在的故障模式及其影响程度,例如设备维度关注设备质量缺陷、性能衰减等风险,操作维度聚焦误操作、调试失误等问题,环境维度考虑温湿度、恶劣天气等影响,并制定针对性的预防措施;故障树分析(FTA)以“临时供电中断”“设备故障跳闸”等关键风险事件为顶事件,构建故障树模型,分析导致风险事件发生的根本原因与传播路径,识别关键风险节点,为风险防控提供精准靶向^[3]。

3.2 主要风险类型

一是设备风险,包括新设备存在质量缺陷(如SF6

气体泄漏、绝缘性能不达标等)、老旧设备在改造过程中突发故障(如套管爆炸、绕组损坏等);二是操作风险,涵盖倒闸操作失误、保护装置调试错误、临时接线不规范等,易引发设备损坏或电网事故;三是电网安全风险,主要包括负荷分配不均导致的过负荷、无功补偿不足引发的电压波动、系统稳定破坏导致的频率异常等,可能影响区域电网安全;四是环境与管理风险,包括恶劣天气(暴雨、台风、高温等)对施工与设备运行的影响,以及施工现场管理混乱、安全措施不到位、人员资质不足等管理问题。

4 老旧变电站设备升级改造运行过渡风险防控体系构建

4.1 设备风险防控措施

构建设备全生命周期风险防控体系,在设备选型阶段,建立“技术参数+运行性能+供应商资质”三维评估体系,严格筛选设备供应商,优先选择技术成熟、业绩良好的厂家;设备运输阶段,采用GPS定位与震动监测技术,实时监控设备运输状态,避免运输过程中的损坏;设备安装阶段,执行“三级质量验收”制度,对安装工艺、接线质量、绝缘性能等进行严格检测,确保安装质量达标;设备运行阶段,配置智能在线监测装置,对设备的温度、油色谱、局部放电等参数进行实时监测,实现故障早期预警,及时发现并处理潜在隐患。

4.2 操作风险防控措施

建立“五道防线”操作风险防控体系,多维度筑牢操作安全屏障。技术防线方面,全面配置防误操作闭锁装置,在开关柜、隔离开关等设备上安装机械闭锁与电气闭锁装置,同时引入智能钥匙管理系统,将操作流程嵌入钥匙授权逻辑,当操作顺序错误或未完成前置检查时,钥匙无法取出,强制规范操作流程。管理防线严格执行“两票三制”:工作票与操作票需经班组、车间、厂部三级审核,明确操作任务、风险点及安全措施;定期工作制度、巡回检查制度、交接班制度的执行情况纳入绩效考核,确保各项管理要求落地见效。培训防线采用“理论+实操+虚拟仿真”相结合的模式:理论培训涵盖安全规程、设备原理等内容;实操培训在模拟场地进行倒闸操作、设备调试等实战练习;VR虚拟仿真系统可模拟误操作后果,提升操作人员的风险意识,确保培训后操作正确率达到95%以上。监督防线设立专职安全员与现场监护人,监护人需全程跟踪操作过程,对操作步骤进行逐一确认,安全员通过现场巡查、视频监控等方式,及时纠正违章操作行为。应急防线针对误操作、设备卡涩等典型场景制定详细应急预案,明确应急处置流

程、责任分工与物资保障,每月开展1次应急演练,通过实战化训练提升突发操作失误的快速处置能力。

4.3 电网安全风险防控措施

实施“负荷-电压-频率”三维协同防控,保障改造期间电网安全稳定运行。负荷控制方面,依托需求响应平台与用户建立联动机制,提前发布负荷调控通知,引导工业用户在改造高峰时段错峰生产,商业用户调整空调、照明等用电负荷;同时通过实时负荷监测系统,动态跟踪各线路、设备的负载率,当接近额定容量80%时,启动负荷转移方案,将负荷切换至备用线路,避免过负荷运行^[4]。电压控制方面,采用AVC自动电压控制系统,该系统通过采集变电站母线电压、无功功率等实时数据,结合预设的电压控制目标,自动生成无功补偿装置投切、变压器分接开关调整指令,实现电压的精准调控,将母线电压波动范围严格控制在 $\pm 2\%U_n$ 以内,保障用电设备正常运行。频率控制方面,配置低频减载装置并采用分级切除策略:当系统频率降至49.5Hz时,切除10%的非重要负荷;降至49.0Hz时,再切除15%的一般负荷;降至48.5Hz时,切除20%的次重要负荷,通过阶梯式减载维持系统频率稳定。同时,强化电网运行监控,利用SCADA系统实时采集电网运行参数,构建电网风险预警模型,对过电压、频率异常等潜在风险进行提前预判,一旦发现异常立即启动处置流程。

4.4 环境与管理风险防控措施

构建“监测-预警-处置”闭环防控机制,全面应对环境与管理领域的风险隐患。环境风险防控方面,在变电站控制室、设备区、电缆沟等关键位置安装“温湿度+烟雾+水浸”三合一监测传感器,传感器数据实时上传至监控平台,当环境温湿度超出设备运行允许范围、检测到烟雾或水浸信号时,平台立即发出声光报警并推送信息至运维人员手机。针对暴雨、台风、高温等恶劣天气,提前制定专项防范方案:暴雨前检查排水系统、封堵电缆沟入口;台风前加固户外设备构架、清理周边

杂物;高温时启用设备冷却系统,确保环境条件满足设备运行要求。管理风险防控方面,全面推行“6S”现场管理法,通过整理、整顿、清扫、清洁、素养、安全六大环节,规范工具、材料的定置摆放,设置清晰的标识标牌,保持施工现场整洁有序。同时,建立健全安全管理制度体系,明确施工、运维、监理等各参与方的安全职责,制定安全巡查清单,由安全管理人员每日开展现场巡查,重点排查违章作业、安全防护缺失等问题,建立隐患台账并实行“销号管理”。此外,搭建一体化风险预警平台,整合设备状态监测、环境监测、施工进度管理等多源数据,通过数据融合分析实现风险的实时预警,同时打通各部门协同处置通道,确保风险隐患快速响应、及时化解。

结束语

老旧变电站设备升级改造是推动电网智能化、提升供电可靠性的重要举措,而科学合理的运行过渡方案与完善的风险防控体系是改造工程成功的关键。本文提出的过渡方案与防控策略,通过多维度技术手段与管理措施,有效平衡了改造过程中的安全、质量与效率关系。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的发展,应进一步深化技术创新,构建智能化的过渡方案优化与风险防控平台,推动老旧变电站改造向精益化、智能化方向发展,为新型电力系统建设提供更坚实的支撑。

参考文献

- [1]孟庆凯,潘雄,潘晓柏,等。一种有效发现站用电及消防系统缺陷隐患的设备运维策略[J].电工技术,2020(22):105-107.
- [2]卫星,李红,王程,等。变电站一次设备健康状态评估及风险预测方案研究[J].电工技术,2023(8):181-184,189.
- [3]推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案[J].中小企业管理与科技,2024,(05):1-4.
- [4]陈龙,刘洪平。旧设备智能化改造助力智能制造业发展[J].价值工程,2023,42(16):21-23.