

变电站运维“双替代”数字化转型

白战胜 郭晨光

内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

【摘要】：十五五期间，内蒙古电力将以创新为动力，智慧赋能数智蒙电，数字化转型达到行业标杆水平。在新型电力系统建设的时代背景下，变电站“双替代”（一键顺控替代人工倒闸操作、智能巡视替代人工例行巡视）已成为蒙电推动电网数字化转型的核心战略举措。为此，我们变电管理一处提前谋划“十五五电网发展路线图”，引入辅控 2.0 系统，明确提出要加快变电主辅设备改造和智慧升级，利用数字孪生技术构建变电站智能神经网络。提升变电站运维质量，降低运维压力，缓解人员不足问题，解决“小、散、远”管理矛盾。

【关键词】：变电站；双替代；转型

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.030

1 项目目标与覆盖范围

数字化转型过程中我们本着以“安全、高效、智能、经济”为核心目标，全面推进变电站“双替代”建设。最重要实现倒闸操作效率提升 80%以上，人工巡视工作量减少 80%以上，设备缺陷识别准确率达到 95%以上，误操作风险降低 90%以上。

覆盖范围是以“人工智能+”实现多场景应用，利用辅控 2.0 系统，重点推进康巴什运维站的智能巡视和一键顺控工作。通过科技项目、大小修及综自改造项目，设计、开发、制造和验收远程遥控设备，包含断路器、隔离开关(AIS、GIS)、10kV 小车、二次空开、硬压板、旋转把手、差动重合闸软压板及保护定值区切换。致力于打造监控三个中心建设，提升变电站事故远程应急处理能力。

2 工作开展情况概述

自 2023 年以来，变电管理一处按照“试点先行、分步实施、全面推广”的原则，分三个阶段推进双替代工作。第一阶段（2023 年 1 月-12 月）试点完成康巴什运维站 6 座变电站的辅控 2.0 建设及一键顺控调试；第二阶段（2024 年 1 月-2024 年 12 月）利用综自改造工程完成了 7 座变电站的一、二次设备远程遥控的实施；第三阶段（2025 年 1 月起）按照“加点做库、逢停必控”原则进入全面推广阶段。

截至 2026 年 2 月，我处已完成 6 座变电站的双替代改造工作，其中 220kV 变电站 1 座、110kV 变电站 5 座；科技立项自主研发 D5000 二次设备遥控模块，通过加装智能终端，220kV 圣圆变电站实现对二次空开、把手、硬压板的远程监视与操控，监控远程即可进行 220kV 倒母线操作来进行事故应急处理；完成了 54 变电站重合闸、差动保护软压板等远程投退功能改造，全处覆盖 69%。完成了 220kV 马莲和 110kV 青春山变电站的 10kV 小车技改工作，实现了小车开关运行倒冷备用的遥控操作，打破了一次设备转冷备用的遥控壁垒；试点开展 110kV 幸福变等 7 座变电站的隔离开关二次微断开关改造，完成了 21 座 GIS 变电站的隔离开关及常规变电站 657 组 AIS 隔离开关远

方遥控调试，突破原有仅能单一遥控断路器的限制，实现一次设备远程操作范围全覆盖。

在试点成功的基础上，处部制定了详细的推广计划，明确了“统一标准、分步实施、重点突破”的工作思路。标准化建设成为推广阶段的核心任务，组织编制了《智能辅助监控系统工艺标准》《一键顺控调试验收方案》《摄像机配置及布点方案》《变电站 GIS 室微距摄像机施工方案》《变电站智能联动调试验收方案》《变电站远程智能巡检管理办法》《变电站隔离开关远程遥控操作方案》等一系列技术标准。

3 工作成果展示

双替代工作实施以来，变电站安全生产水平实现了质的飞跃。通过“空中层（高清视频+AI 算法）、地面层（巡检机器人）、内控层（在线监测装置）”构建的“天地内”立体巡检体系，已累计替代人工巡视 1574 次，自动识别缺陷 47 处，实现运维成本降低 40%，故障发现时间缩短至分钟级，智能巡视系统的应用显著降低了运维人员在恶劣天气、高风险环境下的作业频次。触电风险从 0.3%降至 0.02%，误操作纠正率从 35%提升至 100%，误判断率从 22%降至 1.5%。

尤其是主变设备在重负荷、高温天气温度较高，设备本体接线板较多，发热概率较高，经常需人工专项跟踪巡视测温，工作量较大，例如康巴什运维站所辖 13 台主变配置红外双光谱摄像头，主变测温分析、主变测温数据截止目前全部巡检正常，没有识别异常及漏检点位，且最高温度和人工测温、机器人测温分析对比误差较小，13 台主变辅控测温完成仅需 7 分钟，每周执行一次，对发热缺陷远程跟踪监视起到很大作用。

智能巡检整体试运行以来，累计巡检次数达到 1.2 万次，针对误告警较多的油位视窗模糊、预置位偏移等，通过协调更换大视窗、试点预置位自动校准等技术，并与厂家协调多次更新算法库，缺陷准确率及替代率逐步上升。

远程抄录表计。原 SF6 人工抄录有人值守站由每 5 天改为每季度 1 次，无人值守 B 级变电站每 3 天改为每季度 1 次，无

人值守 C 级变电站每周改为每季度 1 次，目前均由辅控远程每 5 天抄录 1 次。

原避雷器泄露电流及动作次数人工抄录每半月 1 次，调整为人工每月 1 次，每月按照月历安排至少增加辅控专项抄录 2 次。

原设备油位、油温人工抄录每月开展 1 次，目前调整为人工每季度开展 1 次，利用辅控系统每月增加专项抄录 2 次，遇到气温突变利用辅控增加专项抄录。

运行初期每次对辅控数据远程抄录结果与现场实际抄录全量分析对比，不断发现问题，形成缺陷，专人跟踪，制定月度数据准确率分析报表，针对表计识别错误主要涉及的摄像机聚焦模糊、点位偏移、冗余点位、角度不佳、光线明暗、表计本身模糊等原因，通过调整任务时间、冗余点位单一治理、增加微距摄像机、协调更换模糊表计盘、预置位校准等手段。实现 SF6 表计抄录准确率提升至 98% 以上。

在线监测智能预警，数据解析助力设备安全。利用在线监测数据进行回传，实现数据实时监测，历史数据查询及曲线图分析，在公司大力支持下，康巴什运维站实现了 3 台主变油色谱及铁芯接地电流监测、4 座变电站开关柜无线测温监视、3 座变电站 GIS 局部放电监测接入辅控，2025 年班组通过 QC 活动，针对当前集团公司智能辅控巡检盲区 and 行业事故高频点，基于物联网理念，实现户外箱体远程温湿度智能监测及控制，并成功试点接入辅控系统进行集中监控。班组内部同步建立在线监测数据界面巡查制度，实现设备内部运行状况的实时远程监视，提前发现设备微小隐患，有效提升电网设备可靠运行指标。

同时充分应用辅控系统数据纵向分析功能预判缺陷，尤其在对 SF6 压力、设备油温方面纵向分析时，提供直观依据，不再需要人工手动耗费大量时间翻阅历史巡视抄录数据，如图 16 所示，为康巴什 220kV 变电站 151 断路器 SF6 压力年曲线变化，压力虽未降低至告警值，但通过数据对比可直观判断该断路器年漏气率超过规定百分比 0.5%，对设备缺陷、潜在异常分析提供直接依据，充分应用数据解析，助力设备安全稳定运行。

数据融通驱动智慧决策，自主试点实现从“被动响应”到“主动研判”的跨越。基于日万条巡检数据，班组自行训练 AI 分析模型，将季度各类巡检数据进行抽取，并导入 AI 模型，辅助完成设备全年运行数据纵横分析，持续探索智慧运维分析及决策，推动运维模式从“被动响应”向“主动研判”跨越。

总体辅控系统智能巡视已替代一半以上人工现场巡视，具体为二分之一例行巡视任务由辅控智能巡视替代，四分之三油位、表计等专项抄录工作由辅控替代，恶劣天气特殊巡视优先全部由辅控替代，随着各类巡视检查的不断替代，以康巴什运维站为例，可实现年减少出车次数 580 余次，年节约出车里程

17000 公里，按照 2 人巡视检查，可节省人力时间 2900 余小时。

推动操作模式革新，提升运维质效。这是运行效率的革命性提升战略，一键顺控技术将传统的人工倒闸操作时间大幅压缩，构建“遥信变位+智能识别+人工确认”的“三确认”安全机制，结合区域防误系统和视频联动，打造“PO 互联+区域五防+一键顺控”的智能操作模式，将典型操作时间从 50 分钟大幅压缩至 6 分钟，效率提升 88%。率先实现新建变电站辅控系统 with 主设备“同步验收、同步投运”，并成功完成 220kV 蒙根其变电站的远程送电投运，形成“接令-操作-检查-回令”全过程闭环管理，为“大运维”模式奠定了坚实基础。

拓展远程操作范围，强化故障隔离能力。随着变电站硬压板与软压板的遥控机制建立，彻底杜绝了“小操作大动作”的时间损耗。变电一处每年涉及上万次带电作业及输电封网钻、跨越工程，远程二次操作可减少车辆行驶 2 万多公里，节约工时上千小时，极大提升了效率与安全性。

深入融合智能手段，促进双替代开花结果。智能运检系统就是远程监控人员的一双“智慧千里眼”，整合在线监测+摄像头+机器人等站区一张图网络对设备 360 度无死角立体巡视，全年隐患缺陷发现率提升 30%，故障预警准确率达 87%，运维成本降低 30%，成功实现了从“事后处置”到“事前感知”的转变。针对季节性天气及停电风险预警，安排辅控驾驶舱开展远程视频特巡。发现危急缺陷 6 起。利用在线监测系统，全年发现 CVT 电压异常 7 组，经检修确认均为内部电容分压单元故障。通过 D5000 系统与智能辅控协同联动，高效处置多起异常事件：幸福变电站 1 号主变报轻瓦斯报警，监控人员通过辅控视频发现主变油温已降至下限；新街变电站两次 35kV I 母发出消谐接地告警，视频巡查发现一次为新街变 313 出线缆头燃烧，另一次为圣圆水务变进线柜内支持绝缘子起火冒烟。两起事件均迅速启动应急响应，及时隔离故障设备，避免了事故扩大。主辅系统联动有力保障了全年跳闸次数为零的运行成绩。

创新远程许可模式，为基层运维减负增效。针对变电运维“小、散、远”矛盾导致运行人员往返站点耗时耗力的问题，创新开展二种工作票远程许可业务。设立远程许可专责人，每日汇总各站施工日计划，通过可视电话完成安全措施确认与技术交底，全程执法仪记录，严格落实“谁许可、谁负责”。此举不仅缓解了变电站承载力压力，更利用视频平台实现了“远程临场、实时监督”，强化了作业安全管控。例如，在消防维保中，可依据辅控火灾报警指示图和 D5000 火灾报文，来监督维保人员“应做尽做”，防止出现感温电缆、消防联动、探头故障、GIS 室高处探头漏测等问题。截止当下，监控班共许可二种票共计 487 张，平均许可时长由原先的 60 分钟压缩至 15 分钟，效率提升 75%，节约人力耗时约 22000 分钟，减少车程上万公里。远程许可模式运行以来，未发生一起因许可环节疏

漏引发的安全事件，有效保障了作业安全与运维效率的双提升。

4 结语

变电站“双替代”工作的全面推进，标志着公司电网运维模式进入了智能化的新时代。通过一键顺控替代人工倒闸操作、智能巡视替代人工例行巡视，不仅大幅提升了电网的安全性和可靠性，还带来了效率的飞跃和成本的大幅降低。

展望未来，我们充满信心。在国家政策的支持下，技术进步的推动下，公司部门的帮助下，双替代技术将不断升级推广，为蒙西电网的安全稳定运行提供更强大的保障。我们将继续秉承“人民电业为人民”的企业宗旨，用忠诚与汗水在广袤北疆上铺就光明之路，推动公司向“建设世界一流现代化能源服务企业”的新征程迈进，奋力开创公司“十五五”发展新局面，为书写中国式现代化内蒙古新篇章贡献力量。

参考文献：

- [1] 郝宝欣,潘建亚,陈伟.变电运维“两个替代”效能评价分析与提升[J].电力系统装备,2026(5):151-153.
- [2] 张珏,庄志翔,简思亮,等.变电站智能运维业务设计与应用[J].南方能源建设,2024,11(S1):74-79.
- [3] 刘冲,陈亚天,王丹丹,等.基于人工智能的数字化变电站的研究与应用[J].电工技术,2025(18):136-139.
- [4] 赵英豪,何婷婷.无人值班变电站运维云平台搭建[J].电工技术,2025(8):112-115.
- [5] 梁健华.基于数字孪生的变电站三维可视化运维管理研究[J].工程与管理科学,2025,7(10):89-93.