

[数字化转型]

以提质增效为目标的变电运维 数字化管理模式探索

文/梁海洋 于俊杰

内蒙古电力（集团）有限责任公司乌海超高压供电分公司

变电管理处为积极响应集团公司“1-3-5”数字化转型工作思路，着力推动运行管理数字化转型。聚焦以应用智能化设备、平台应用，加强数字信息化基础设施建设，构建新型运维模式，解决传统人工运维模式下对人员依赖度高、效率低的问题，提升整体工作效率。

截至2022年底，内蒙古电力（集团）有限责任公司乌海超高压供电分公司变电管理处共计运维11座500 kV变电站，主变压器75台，变电总容量21 450 MV·A，覆盖蒙西地区4个盟市，变电设备运维量是超高压各变电管理处之最。依据公司总体部署，“十四五”是电网数字化转型的关键时期，变电运维业务的智能化建设是其重要组成部分，至2023年底，变电管理处各变电站辅控系统覆盖率达到81.8%，同时，公司制定打造世界一流企业的目标，不断推出管理升级的重大举措，对变电运维工作质效提出了更高要求。

为落实公司战略部署，变电管理处主动作为，拓展思路，以提高变电运维质效为目标，积极探索变电运维的数字化管理模式。

实施背景

1. 顺应电网发展趋势，推进运维业务数字化转型的需要

“十四五”以来，国家从战略层面提出“加快数字化发展 建设数字中国”的远景规划和加快电网基础设施智能化改造的要求，自治区也在“十四五”发展规划中明确要以数字赋能为方向，加快“云大物移智链”等信息技术与能源深度融

合，提升能源行业治理现代化水平，集团公司提出数字化转型行动方案。建设数字化变电站，推进运维模式数字化转型，实现变电站内巡视、评价和管控等管理方式智能化，已成为变电运维发展的必然趋势。

2. 保障地区经济发展，提升设备运维质量的需要

近年来，地区工业经济、社会发展及新能源送出迅猛发展，对电力的依赖程度不断增强，对电网设备的安全运行水平和可靠供电能力提出了更高的要求，而变电站运维质量将直接影响电网安全可靠水平，为适应新形势下发展要求，只有全面推进数字变电站建设，搭建智能化运维管控体系，才能有效提升变电设备运维质量。

3. 破解传统变电运维管理瓶颈，提升管控水平的需要

随着经济社会发展，电网规模迅速增长，与变电运行刚性缺员、结构性缺员的矛盾日益凸显，传统运维管理模式不能很好适应企业迅速发展。

一是运维模式单一、低效。原有变电站处于无监控、全人工的维护模式，室内温湿度、设备端子箱及汇控箱内环境的维护需要人工频繁巡视、调整空调、电暖气及加热器投退情况维持，存在维护量大、对人员依赖程度高的问题。

二是智能化设备、设施覆盖不全，零星布置，未有效形成合力。巡视机器人对高处设备金具、室内设备及电缆沟的巡视存在盲区；外来人员一体化管控系统、视频浓缩系统、变电站技防一体化系统和变压器状态分析系统各自独立；设备在线监测系统偏少，目前只有变压器油色谱在线监测。

三是智能化程度不高，巡视机器人系统的缺陷识别类型简单、识别判断准确率偏低，各智能系统的数据分析不深入。

四是配套管理体系不健全，变电站内智能设备、系统的应用标准体系未建立，没有与现有运维体系有效接轨。推进建设变电站数字化管理体系建设，实施变电站巡视、监视智能化，通过实时数据采集、系统状态分析，实现变电站状态信息及时传达和集中远程运维，大幅节约现场运维人原成本，是提升变电运维管控能力的重要手段。

基于以上背景，变电管理处通过梳理现有智能化设备、系统情况，制定标准应用方案，不断推进变电站数字化建设，同时探索建立一套完整的变电站运维数字化管理模式。

主要做法

（一）开展变电运维数字化管理的顶层设计，明确建设步骤

针对现阶段变电运维模式存在的问题，变电管理处深入研究，确定以提高运维质效为目标，推进变电运维数字化建设的指导思想。明确工作基本原则，保障安全稳定前提，应用先进技术，差异化分步骤开展数字化管理模式建设。

1. 第一阶段

加强现有智能化设施、平台及科技成果在运维方面的应用。梳理现有智能化设施、平台及科技成果，分析其运行情况，结合变电站运维工作实际，制定智能化设备深度应用方案，编制标准工作流程，将运维模式从传统全人工开展转变为智能设备+人工运维的管理模式。

（1）制定机巡+人巡方案

2022年组织各变电站利用1个月的时间统计机器人的7类巡视结果，发现巡视机器人在SF₆表计压力、开关分合指示的识别情况相对较好（但千里山站机器人需要进一步优化、调试），避雷器泄漏电

流、避雷器动作次数、油位识别受到光线及表计模糊影响较大；储能指示部分机器人需要进一步调试，受到位置角度等影响机器人识别情况；测温数据存在比便携式测温仪数据偏高的情况。根据数据情况，制定变电站机器人巡视+人工的方案，并组织试行。

每天上午的巡视工作，为巡视机器人分设备区派发巡视任务，每三天完成一次全站巡视，每天人工对机器人巡视结果进行核对分析，其中机器人巡视正确的油位、压力等数据直接应用、记录，对于机器人巡视点位不正确和存在的错误，运行人员单独记录，分析，联系厂家提出优化方案，结合下次维保不断改进，机器人未巡视的其他设备区表计指示由人工巡视补足。每天下午及夜间巡视仍由人工开展。具体巡视安排见表1。

表1 机巡+人巡安排

日期	220 kV设备区	主变及无功设备区	500 kV设备区
第一天	机巡+人工分析结果	人巡	人巡
第二天	人巡	机巡+人工分析结果	人巡
第三天	人巡	人巡	机巡+人工分析结果

（2）探索油色谱在线监测应用方案

收集了年度22台变压器9个月的5项数据，全部做成曲线后，得到110组曲线（见附件1），经过对比分析便携式油色谱试验和在线监测数据曲线，发现两者数据变化趋势基本一致，但便携式色谱仪的试验数据波动较大，110条曲线中80条出线严重波动；110条在线监测数据中6条存在突变数据；经过以上对比，可认为在线监测系统取油管路固定，采样期间无人因素干扰，检测状态更为稳定，数据结果更可靠。便携式色谱仪可能受到取油、检测、环境温度和人员操作方法的影响，导致数据波动较大。应用方案：

1) 对已安装油色谱在线监测系统的设备，使用在线监测数据代替便携式油色谱仪分析的数据。这些设备不再开展每月取油测试工作。

2) 每天加强在线监测系统巡视。

3) 每半月（19日、24日）开展一次在线监测系统数据、就地端子箱内气瓶压力记录。发现异常及时上报。

4) 当月在线监测系统故障时间较长，开展人工

油色谱试验。

(3) 加强现有各智能平台的应用

利用基于视频浓缩技术的变电站监控录像系统开展每天安防系统检查；建立外来人员安全一体化管控平台，实现各类工程项目资料审核、人员培训、进场作业及竣工验收的全流程线上管控。

2. 第二阶段

结合辅控系统建设融合现有智能化设备、平台。依据集团公司指导意见，加强过程监督管控，确保系统功能贴合生产实际，及时制定系统应用方案和工作标准，进一步提升数字化管理水平。

3. 第三阶段

不断完善数字化建设，根据公司数字化转型目标，分析各变电站重要程度和现有智能化设备不足，结合下一步运维模式规划，差异化制定在线监测、物联网和站内无线局域网建设计划，确定智能识别、辅助分析系统研究方案，结合科技项目、技改项目逐步实施。所有建成的智能化变电站全面进入数字化运维管理实用阶段，切实提高变电站运维质效。

(二) 建立健全组织机构，提供组织保障

为保障工作推进顺利，有效落地。变电管理处成立专项工作领导小组，形成以变电管理处主任和书记为负责人，涵盖副主任、各专责、各班组长及站内专人的专项工作推进工作组，确保从工作调研、试点和分析应用，到完善管理制度，形成运维管理体系的各环节专人专管、保证质量。

(三) 应用先进技术，不断建设完善变电站数字化系统

1. 辅控系统实施后，针对应用情况，深挖系统实用性功能，打造数字化变电运维“智慧大脑”

系统运行后做好经验积累，定期分析系统工作情况，针对不足，制定智能识别算法和数据分析辅助决策的研究方案，通过深度开发，实现辅控系统巡视识别类别丰富、结果准确可靠，对变电站各类大数据具备初步分析的能力，进一步提升运维效率。

2. 丰富变电站终端，不断完善数字化建设

通过研究、实施保护小室、电缆沟等位置的巡视监控手段，总结推广无人机巡视方案，形成变电站全方位立体化智能巡视体系；逐步接入主变、

GIS局放在线监测、声纹在线监测等系统，实现对重点设备重要指标的实施监视和在线状态评估，为下一步运维策略提供支撑。

3. 建设变电站无线传输系统，建成安全、高效的数据网络，实现传输模式创新创先

采用WAPI+LORA的无线网络相结合的方式，打通变电站至设备通信的最后一公里，实现变电站安全通信网络全覆盖，为变电站物联网、大数据建设铺路搭桥，为数字化转型奠定坚实基础。

(四) 优化运维职能，固化运维模式

1. 对标国家一流企业，优化变电站运维模式

在开展数字化变电站辅控平台建设、技术创新工作实施的同时，组织人员加强与国网、南网的交流学习，汲取先进运维经验，分析现阶段公司变电现场运维工作、专业管理的冗余项、不足项，制定提升和优化方案，进一步激发运维提效潜力。

2. 成立专业运维班组，加强智能化平台、系统的运行维护

结合辅控系统的实施及后续数字化建设工作，组建相应维护班组，确定设备主人，按照提前介入的工作方式，全程参与系统建设、验收及维护各环节，做好后期维护的技能储备；同时根据系统各部件工况和设计寿命，差异化制定维护策略，确保数字化系统运行稳定，为变电运维工作数字化转型打下基础。

3. 健全标准形成固定业务流程

在变电站数字化运维体系探索的各阶段，按照梳理分析-制定方案-试行总结-形成标准的过程，及时总结维护管理工作要求，编制相应工作标准，形成固定的运维流程，工作下一步的推广应用奠定基础。

实施效果

(一) 显著提升运维工作质效

应用机巡+人巡的变电站巡视模式，每天可降低人工巡视30%的工作强度，节约30%的巡视时间；应用油色谱在线监测代替人工油色谱工作，平均每月每站可节约27 h的工作时长；应用基于视频浓缩技术的变电站监控录像系统，可得到各摄像头异常视频索引，将传统安保人员定期巡视，异常事件后期追溯的安防管理模式改变为全站安防视频实

时分析，每天检查异常视频，大大提升了安防异常情况发现的及时性和检查的全面性；应用外来人员安全一体化管控平台，提升了各管控环节的反馈及时性，避免了因管理人员公出等原因导致的几个工作日的延迟情况。

预计全面建成变电运维数字化管理体系并运用后，将有力支撑500 kV变电站少人、无人值班模式，大幅提升变电站运维工作效率，节约变电站维护的人员成本，显著提升运维承载力。

(二)有力推进了运维业务智能化转型进度

通过建立智能化设备应用管控机制，进一步推进运行人员在日常工作中运用智能化、数字化设备的水平，进一步促进运行人员用好智能化系统，迈出了运维业务智能化、数字化转型进程上的重要一步。从运维模式到管理流程上显著加大了智能化设备、系统的应用程度。

(三)促进运行专业管理模式适应企业快速发展

在保障安全、提高效率的基础上，智能化设备的应用适应乌超供电公司快速发展的现状。通过贯彻落实集团公司“数字蒙电”发展理念，将智能化设备先进技术代替传统人工巡视和部分运维工作，体现乌超公司在践行集团公司发展理念的责任担当。EA

(收稿日期：2023-12-23)

参考文献

[1] 唐标, 李婷, 李博, 等. 基于边缘计算的变电站内智能布控数据分析与展示[J]. 电气应用, 2021, 40(2): 79-84.
[2] 陆朝阳, 吴俊辉. 智能变电站二次舱一体化设计研究[J]. 电气应用, 2021, 40(1): 49-54.

(上接第91页)

结束语

本文介绍了发电机定子绕组水流通性实验方法，通过介绍超声波和传统热水流法的实验方法和实验原理，分析对比两种实验方法的优缺点，针对水冷式汽轮发电机定子绕组过热缺陷的早期预警，提出了一种基于稀疏自动编码器（SAE）和长短期记忆网络（LSTM）的方法。实现了对正常工况下汽轮发电机定子绕组各槽出口温度的预测，为发电机的稳定运行提供了有力的支持。得出以下结论：

- 1) 目前电力行业内用于检测发电机定子绕组水系统流通性方法从检测原理和实际应用效果来看，在诊断准确性和诊断实验实施难度上均存在不同程度的缺点和不足。尚无可实现对发电机定子绕组水系统流通性进行准确检测的方法和手段。
- 2) 对DCS通过SAE采集的汽轮发电机组状态数据进行稀疏重构，可以有效提取输入数据的特征，

提高预测模型的预测精度和效率。该方法的特征提取效果优于AE方法和PCA方法。

3) 对于水内冷汽轮发电机定子线棒出口水温的预测，本文提出的预测模型只需少量样本就能获得更好的预测效果。其预测性能优于BP网络方法和标准的LSTM网络方法。EA

(收稿日期：2023-05-04)

参考文献

[1] 朱剑飞, 陈文刚, 宰洪涛, 等. 基于ARIMA与LSTM在电力负荷预测中的对比讨论[J]. 电气应用, 2022, 41(2): 27-31.
[2] 杨世强, 何信林, 王团结, 等. 大型发电机转子绕组匝间短路故障诊断研究与应用[J]. 电气应用, 2021, 40(9): 30-34, 40.