

智能化变电站运维模式转型与效率提升实践

刘德霞 毕永男

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】：智能化变电站设备类型多、信息量大、运行工况复杂，传统以人工巡检与事后处置为主的运维方式难以满足高可靠、低成本和快速响应要求。论文围绕运维模式转型与效率提升实践，构建基于在线监测与多源数据融合的状态感知体系，建立设备健康评价与风险预警模型，形成检修策略优化与工单闭环管理机制，并在典型站点开展应用验证。实践结果表明，该模式可显著减少重复性现场作业，提升缺陷发现的及时性与处置准确率，优化资源配置与检修计划，降低停运风险与运维成本，为智能化变电站规模化推广提供可复制的路径与方法。

【关键词】：智能化变电站；状态检修；多源数据融合；风险预警；闭环运维

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.046

引言

电网设备数字化与在线监测普及推动变电站向智能化演进，运维对象从单一设备维护扩展到系统级状态管理。面对告警信息激增、设备异动隐蔽化与人员效率瓶颈，依赖经验的巡检与事后抢修模式暴露出响应滞后、资源利用不均和风险控制不足等问题。开展智能化变电站运维模式转型研究，关键在于将数据转化为可执行的检修决策与闭环管理能力。本文聚焦如何构建状态感知、健康评估与风险预警体系，并将其落地到工单流程和检修策略优化中，以实现效率与可靠性的协同提升。

1 智能化变电站运维形态与技术基础演进

智能化变电站的运维形态由“以设备为中心的人工维护”逐步转向“以状态为中心的数据化管理”，其演进的核心动力来自一次设备智能化、二次系统网络化与信息平台集成化的同步推进。一方面，综合在线监测装置在主变、GIS、断路器、避雷器等关键设备上实现常态化部署，油色谱、局部放电、SF6气体密度与微水、触头磨损、机构机械特性等状态量被持续采集并形成可追溯的时序数据；另一方面，站内通信由传统点对点连接升级为基于过程层与站控层的统一网络架构，采样值、开关量与告警信息通过标准化报文进行传输，提升了数据交换的实时性与一致性，也为跨设备、跨系统的关联分析提供了基础条件。

在技术基础层面，运维对象的“可观测性”显著增强，数据类型从离散告警扩展到高频波形、趋势量、事件序列与环境量，数据质量管理成为运维能力的重要组成部分。时间同步精度、采样完整率、通信链路可靠性以及测点一致性直接影响健康评估与风险预警的有效性，因而运维工作开始前移到数据治理与模型校验环节。智能化变电站的设备管理逻辑也在发生变化，传统依赖定期试验和经验阈值的判据逐步让位于健康指数、劣化速率与剩余寿命等状态评价指标，检修策略从固定周期转向差异化的状态检修与风险检修^[1]。基于多源数据融合的诊断技术能够将单点异常与系统运行方式、负荷波动、气象条件、设备历史缺陷等因素进行耦合分析，减少误告警与漏告警，

提高缺陷定位的可解释性。

运维组织形态随之向“集中监控+现场协同”的模式过渡。站端由在线监测、智能终端与保护测控装置提供原始数据，集控侧依托运维管控平台实现告警归一、缺陷分级、工单派发与闭环验收，现场作业则更多聚焦于带电检测复核、缺陷处理与设备恢复验证。标准化与流程化在这一阶段被强化，典型缺陷库、风险规则库与作业票模板实现联动，推动运维从“发现—处置”的被动反应转为“预测—干预”的主动管控。伴随设备数字化与平台化程度提升，运维的技术基础不再局限于单一专业知识，而是扩展为通信网络、信息安全、数据分析与状态评估模型共同支撑的复合体系，为后续实现全流程闭环智能运维奠定了坚实基础。

2 传统运维机制与智能场景适配矛盾

传统变电站运维机制以计划性检修与人工巡检为主线，强调“周期到点、项目到项”的刚性执行，依靠台账记录、定期试验和现场经验对设备健康进行判断。这套机制在设备信息稀缺、故障特征显性化的环境下具备可操作性，但进入智能化场景后出现明显适配矛盾。智能化变电站的状态量呈连续化、海量特征，告警、事件、波形与趋势数据在不同系统间并行产生，传统以单设备、单专业为边界的管理方式难以完成跨系统关联分析，导致“信息多但结论少”，运维决策仍停留在经验阈值与事后处置层面，无法形成面向风险的主动干预。

适配矛盾集中体现在三个层面。其一，检修策略与设备劣化机理的不匹配。周期性试验与固定检修间隔忽视了设备退化的差异性与工况敏感性，容易出现“轻缺陷过度维护、重隐患维护不足”的结构性问题，既增加停电检修窗口占用，又难以降低突发故障概率。其二，流程链条与数据链条不一致^[2]。告警归属、缺陷提报、工单派发和验收往往按专业条线分段运行，而在线监测数据与二次系统事件具有强关联性，流程割裂使得同一异常在不同系统中被重复识别、重复派单，现场处理缺乏统一的证据链与处置闭环，形成“多头响应、责任边界模糊”的管理风险。其三，评价体系与能力结构的错位。传统考核侧

重巡检到位率、试验完成率与消缺数量，容易诱导对可量化工作量的追求，却难以衡量告警抑制、误动风险控制、缺陷预警命中率等智能运维关键指标，导致数据治理、模型校准、规则优化等高质量工作得不到资源倾斜。

智能场景还放大了对通信与信息安全的依赖，传统运维更关注一次设备本体可靠性，对网络时延、链路丢包、时间同步漂移、数据一致性等“软故障”缺乏成熟处置机制。过程层采样异常、站控层数据库写入延迟、通信报文风暴等问题可能引发误告警、保护误判或监控失真，但在传统体系中往往被归类为零散故障，缺少端到端的定位方法与跨专业协同路径。在线监测装置数量增加带来测点漂移、传感器失准、阈值配置不统一等数据质量问题，若仍以“告警即缺陷”的线性逻辑推动处置，容易造成告警泛滥、人员疲劳与关键风险被淹没，进一步削弱智能化建设带来的效率红利。

3 数据驱动的全流程智能运维体系构建

数据驱动的全流程智能运维体系以“状态感知—健康评估—风险预警—策略决策—闭环执行”为主线，将站端感知能力与集控侧分析决策能力贯通，形成从数据到行动的可追溯链路。体系构建的起点是统一的数据底座，通过设备编码、测点标识与时间同步规则实现多源数据对齐，纳入在线监测、保护测控、站控系统、红外与带电检测、检修试验、缺陷记录等异构数据，并建立数据质量控制机制，对缺失、漂移、噪声与异常跳变进行校验、修复或标注，确保后续模型输入的可靠性与一致性。基于此，构建以设备为对象的状态画像，形成覆盖运行工况、环境因子、历史检修与故障特征的全量特征集，为状态判断提供完整证据链。

在健康评估层，体系采用“指标体系+模型融合”的方式进行分级评估，将关键状态量映射为可解释的健康指数，结合劣化趋势、同类对标与阈值自适应机制识别潜在风险。对主变可围绕油中溶解气体特征、套管介损与局放趋势构建综合判据；对GIS与断路器可融合SF₆密度与微水、局放谱图、机械特性与分合闸时间偏差等指标，形成从轻微异常到严重缺陷的分级标准^[3]。风险预警层引入概率化与场景化思想，将健康指数与故障后果、运行方式、负荷水平、检修窗口资源等因素耦合，输出风险等级与处置时限，实现“告警—缺陷—风险”三层语义转换，避免告警噪声直接驱动作业。策略决策层以风险为约束进行检修优化，支持状态检修、风险检修与机会检修的组合选择，给出检修建议、停电计划匹配、备品备件与人员工器具需求，提升资源配置效率与作业计划可执行性。

闭环执行层将决策结果固化到工单体系，明确责任专业、处置流程、现场复核项与验收标准，形成“派单—处理—复测—销号—复盘”的闭环链条。处置过程同步沉淀结构化知识，包括缺陷特征、原因分析、处置措施与验证结果，持续更新规则库与模型参数，实现自学习迭代。为保障体系稳定运行，还

需配套权限管理、日志审计、网络分区与安全策略，确保数据可信与操作可控。通过这种端到端的体系化构建，智能运维从单点工具应用升级为可持续运行的管理与技术组合体，能够在复杂场景下实现风险前移与效率提升的统一。

4 典型变电站实践应用与成效分析

在典型智能化变电站的实践应用中，全流程智能运维体系以站端多源感知与集控侧统一分析为支撑，围绕主变、GIS、断路器及关键二次回路等高风险对象开展验证。站端在线监测装置与站控系统数据接入后，通过设备主数据映射与测点一致性校核建立统一资产视图，运行事件、告警、趋势量与检修记录被自动关联到同一设备链路，避免了多系统重复核对与台账回填。集控侧对告警进行语义归并与根因指向，针对同源告警、级联告警与瞬态扰动引入抑制与去重策略，形成“有效告警池”，并将健康指数变化与风险等级推送至运维看板，实现风险对象清单化管理。现场作业转为基于风险清单的定向处置，带电检测与解体检查的触发条件由状态阈值与劣化速率共同决定，减少无效开箱与重复试验。

成效评估从效率、质量与风险三个维度展开。效率方面，告警治理与工单联动降低了人工筛选与多专业沟通成本，缺陷从发现到派单的链路时间缩短，现场到站次数更集中于高价值作业；检修计划通过机会检修与窗口匹配优化，减少了同一设备在短周期内的重复停运。质量方面，处置过程引入证据链闭环，现场复测数据与处置记录自动回传，支撑缺陷销号的追溯验收，避免“经验性结论”缺乏量化依据；同类缺陷的处置模板与标准作业票被固化，提升了作业一致性与交接质量^[4]。风险方面，健康指数的趋势监测能够识别缓慢劣化与隐性异常，风险预警以设备后果权重与运行方式为约束，促使资源优先向高风险对象倾斜，降低突发停运概率；对二次系统则通过报文异常、时钟同步偏差与通信链路质量指标建立软故障监测，减少监控失真与误告警诱发的误操作风险。

实践过程中也暴露出需要持续优化的环节。部分测点存在漂移与采样缺失，数据质量治理成为长期工作；模型阈值在不同站点和不同季节工况下需要自适应校准，才能保持预警准确率；跨专业协同仍依赖流程固化与权限边界明确，才能避免“数据有人看、处置无人管”的断点。通过持续迭代规则库、完善缺陷知识沉淀与提升站端感知可靠性，实践结果表明智能运维体系能够在不增加人员负担的前提下提升缺陷识别的及时性与处置的确定性，实现运维从“广覆盖”向“高命中”的转变。

5 新型智能运维生态的发展方向

新型智能运维生态将从“站点级智能”走向“电网级协同”，核心特征是数据、模型、流程与资源在更大范围内实现统一调度与持续进化。随着设备数字孪生能力增强，运维对象将以全生命周期模型形式存在，实时运行数据与设计参数、试验报告、

缺陷处置记录在同一语义框架下融合,支撑健康状态的动态校准与退化机理的可解释分析。面向海量设备的差异化管理需要标准化的主数据体系与统一指标口径,通过跨站点对标实现劣化特征识别、阈值自适应与同类缺陷群体预警,避免孤立站点的经验固化^[5]。运维决策也将更加强调“风险—资源—窗口”的联合优化,把运行方式调整、检修策略、备品备件与人员能力纳入同一优化模型,实现计划与抢修的统筹协调。

平台能力将从告警与工单的数字化升级为智能体协同的闭环作业体系。知识图谱与规则引擎可将设备拓扑、保护逻辑与缺陷机理进行结构化表达,支撑根因定位、处置建议生成与作业风险校核;模型管理体系需要覆盖训练数据版本、参数审计、效果评估与回退机制,确保算法在复杂工况下的可控性与可追溯性。随着远程作业与在线试验技术的发展,部分检修环节可向“少人化、少停电”演进,配合综合在线监测与移动作业终端实现现场作业的精细化管控。信息安全与可靠性将成为生态底座的重要约束,需在网络分区、访问控制、零信任策略

与日志审计上形成常态化机制,防止数据篡改与误操作扩散。组织能力方面,复合型人才结构与协同机制将更加关键。运维人员需要具备状态评估、数据治理、通信与二次系统诊断等综合能力,专业边界向“设备+数据+安全”的融合方向收敛;同时通过标准作业体系与知识沉淀机制实现经验可复制、能力可迁移。面向未来,智能运维生态的竞争力不只来自单点技术,而是来自标准体系、数据资产、模型迭代与闭环治理共同构成的持续改进能力。

6 结语

智能化变电站运维转型的关键在于以数据驱动重塑“感知、评估、预警、决策、执行”闭环,实现从经验巡检向风险管控的跃迁。通过统一数据底座、健康指数与风险分级、工单闭环与知识沉淀,运维效率与处置确定性得到同步提升。面向规模化应用,需持续强化数据质量治理、模型可控迭代与跨专业协同机制,推动运维生态向电网级协同与全生命周期管理演进。

参考文献:

- [1] 刘家瑞,王亮.面向智能化运维的变电站自动化系统优化研究[J].电气技术与经济,2025,(12):1-3+10.
- [2] 俞航,陈子睿,鲁家俊.基于图像识别的智能化变电站在线运维监测[J].电工技术,2025,(22):170-172.
- [3] 陈松屹.智能化变电站运维检修管理模式的分析[J].电子技术,2025,54(03):282-283.
- [4] 朱子太.智能化变电站运维检修管理模式的研究[J].石河子科技,2023,(05):31-32.
- [5] 薛博文.智能化变电站运维检修管理模式研究[J].现代工业经济和信息化,2022,12(05):186-187+205.