浅析变电站智能化在变电运行中的应用与发展

马小兵　李富忠
内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司　内蒙古　阿拉善盟　750300

摘　要：传统变电运行模式作业形式单一、运维效率有限，难以适配现代电网的发展节奏。本文结合变电站智能化技术架构与运行特点，梳理智能感知、数据传输、智能管控等技术在变电运行中的各类应用场景，分析设备兼容不足、数据处理缺陷、运维体系滞后等现存问题。针对现阶段智能化建设短板，总结技术迭代、数据集成、运维升级与全站融合的优化方向，为变电运行智能化改造、运维模式提质增效提供稳定的理论参考。

关键词：变电站；智能化技术；变电运行；智能运维

引言：电力电网系统持续扩容升级，变电运行的稳定程度与管控精度，对整体供电质量起到关键作用。传统变电运行依靠人工值守与周期性检修，作业流程繁琐，隐患排查存在滞后性，管控模式难以适配电网精细化、数字化的发展需求。智能化技术的逐步普及，持续改变变电站运维作业形态与运行逻辑。推进智能技术与变电运行场景深度融合，补齐传统运维模式的各类短板，能够有效提升变电运行的稳定水平，助力电网运维体系提质升级。

1 变电站智能化相关技术构成与运行特征

1.1 变电站智能化整体技术架构

变电站智能化体系依托多层级模块化结构搭建运行框架，打破传统变电站功能分散、结构单一的建设形式。传统变电系统结构设计较为粗放，设备互联性不足，数据统筹能力偏弱，难以适配当前电网精细化运维的发展需求。智能化架构采用标准化分层设计思路，按照作业属性划分现场设备、网络传输、后台管控三大层级。现场设备层级汇聚全站智能化电气设备，承担电网工况采集、电气控制、设备状态监测等基础作业。网络传输层级搭建专属电力通信通道，负责各类运行数据的输送与交互工作。后台管控层级整合全站数据资源，完成运行状态分析、逻辑判别与设备调控指令输出[1]。分层结构可以梳理站内运行秩序，强化设备联动能力，提升变电系统整体运行质量。

1.2 智能感知与信息采集技术体系

智能感知与信息采集技术是变电站数字化升级的核心载体，革新传统人工巡检的作业方式。站内各类精密传感设备布置于电气设备关键监测点位，覆盖主回路设备与二次辅助设备的运行监测场景。设备运行温度、机械动作参数、电磁工况以及站内环境指标，均可通过传感设备自主采集记录。人工巡检模式存在固定的时间间隔，设备短暂工况波动与隐性缺陷很难及时发现。自动化感知采集模式可以实现全天候动态监测，补齐传统运维模式存在的监测短板。高精度、全覆盖的信息采集方式，能够真实还原设备实时运行状态，为后续数据处理与运行研判提供可靠的数据支撑。

1.3 智能数据传输与交互技术模式

智能数据传输与交互技术完善变电站数字化运行链路，满足智能化运维的数据流转需求。变电站现场存在复杂的电磁干扰环境，通用通信方式抗干扰性能较差，容易出现数据畸变、传输中断等问题。智能化传输体系搭载电力专用通信协议，适配站内复杂作业环境，保障数据传输的稳定程度。所有采集数据按照统一技术标准完成封装处理，打通不同设备、不同功能模块的数据互通渠道。系统自带数据校验与筛选功能，自动甄别并清理传输过程中产生的异常数据。稳定畅通的数据流转，消除站内各模块的信息壁垒，实现全站数据资源的整合利用。

1.4 智能化模式下变电运行基本特征

智能化技术的全面应用，彻底改变传统变电运行的作业形态与运维逻辑。传统变电运行依赖人工值守与现场操作，运维工作质量容易受人员专业能力、作业状态影响。智能化运行模式依托数字化技术完成工况监测、数据分析与设备调控，大幅降低人工作业占比。设备运行全过程处于动态监测范围之内，细微工况变化都可以被精准捕捉，方便运维人员提前排查设备隐患。系统依据电网运行工况自主完成逻辑判定与设备调控，提升运维工作的精细度与规范性。全新的运行模式推动变电站

运维向数字化、无人化方向升级，适配现代电网高质量运行的发展需求。

2 智能化技术在变电运行中的具体应用方向

2.1 设备状态智能监测的技术应用

变电设备长期处于连续运行状态，工况变化会直接影响电网整体运行质量。传统检修模式按照固定周期开展作业，无法灵活适配设备的老化进度与运行损耗。智能监测技术依托各类传感装置部署于设备关键位置，采集温度、绝缘性能、机械动作、电磁参数等核心运行数据。数据采集工作覆盖设备全时段运行过程，捕捉人工巡检难以发现的微弱工况波动。运维人员依托持续更新的监测数据，掌握设备性能变化规律，针对性调整检修计划[2]。检修作业不再局限于固定时间安排，完全依据设备实际运行状态开展，大幅提升设备运维的科学性与精准度。

2.2 变电运行智能管控的落地方式

变电运行涵盖负荷调节、设备管控、工况调度等多项工作内容，传统人工管控模式存在流程繁琐、误差偏大的问题。智能化管控体系依托数字化平台整合全站运行数据，搭建集中化的运维管理体系。平台针对电网运行的动态变化，自主生成适配的运行策略，规范站内各项操作流程。所有操作流程都会通过数字化形式留存记录，规范站内运维作业标准。人为操作带来的不确定偏差可以得到有效削弱，站内运维工作的规范程度持续提升。整套管控模式简化传统繁琐的作业流程，为变电站稳定运转提供可靠支撑。

2.3 异常状态智能识别与预警应用

变电设备运行过程中产生的微小隐患，会随运行时长逐步累积并演变为设备故障。传统运维方式偏向事后处置，隐患萌芽阶段无法得到有效干预。智能预警系统搭载专业数据研判模型，对实时运行数据开展动态比对分析。运行参数偏离常规区间时，系统快速锁定异常位置与问题类型，主动推送预警提示。运维人员接收提示信息后及时开展隐患排查与整改工作，阻断隐患持续恶化。前置化的防控模式能够降低故障出现概率，减少设备损坏与供电波动等各类运行风险，提升变电运行整体安全水平。

2.4 变电运维智能协同的技术落地

传统变电站运维、检修、调度等工作环节相互独立，数据资源无法互通共享，作业衔接存在明显短板。智能协同技术重构站内运维工作体系，打通不同作业模块之间的数据壁垒。系统汇总监测数据、检修资源、管控权限等各类信息，搭建统一的共享作业平台。各岗位依托平台开展对应工作，合理调配运维资源，理顺各环节作业流程。零散的运维环节形成有机整体，作业衔接更加顺畅。资源浪费、运维滞后等常见问题得到有效改善，助力变电运维模式向精细化、一体化方向持续升级。

3 变电站智能化运行现存制约因素

3.1 智能设备适配性与兼容问题

电网智能化升级进程中，站内设备更新迭代存在批次差异，不同时期投入的智能设备产自不同生产厂家。设备生产遵循的技术标准、硬件参数与通信定义存在区别，很难形成统一的适配体系[3]。部分老旧一次、二次设备不具备智能化接入条件，无法直接对接新型管控平台。新增智能设备与原有站内硬件体系交互不畅，数据对接存在阻断现象。软硬件适配不匹配的问题，会限制智能化功能的完整发挥，降低全站智能运维的整体推进质量。

3.2 现场数据传输与处理短板

智能化运维高度依赖数据资源支撑，数据流转质量直接影响智能研判与管控精度。变电站现场电磁环境复杂，各类电气设备运行产生的干扰信号，会影响数据传输的稳定程度。部分老旧站点通信链路建设标准偏低，带宽容量有限，大批量实时数据接入后容易出现传输拥堵。后台数据处理模式较为固定，海量繁杂数据得不到有效筛选与分类，冗余信息堆积会拖累系统运行效率。数据传输不稳、处理方式单一的问题，会制约智能技术的落地效果。

3.3 智能化运维体系建设短板

多数变电站完成智能设备改造后，运维管理模式并未完成同步迭代，传统运维思维仍占据主导位置。配套管理制度、作业流程、考核标准依旧沿用传统模式，无法适配智能化运维的作业需求。运维人员日常工作开展缺少标准化的智能运维依据，作业流程相对零散。站内智能化运维缺少系统化的建设规划，改造工作多聚焦设备硬件升级，忽视管理体系的配套完善。体系建设的滞后，会造成智能设备与运维管理脱节，制约智能化运行的长效推进。

3.4 智能技术落地适配性局限

各类智能技术在变电场景的应用，大多依托通用技术方案完成部署，缺少针对性场景优化。不同变电站的运行规模、负荷特性、设备配置存在差异，通用技术方案难以适配所有站点的个性化运行需求。部分智能技术

功能设计偏向理论化，和现场复杂的实际作业场景存在出入，部分功能无法发挥实际效用。技术落地缺少因地制宜的优化调整，场景适配力度不足，让很多智能化改造停留在硬件部署层面，难以充分释放智能化运维的技术优势。

4 变电站智能化技术未来发展趋势

4.1 感知技术高精度与全域化发展方向

感知单元是变电站智能化运行的基础载体，也是获取设备状态、环境参数与运行数据的核心渠道。传统变电站感知设备监测精度有限，覆盖范围存在明显盲区，仅能针对核心设备开展定点数据采集，难以捕捉设备细微运行异常与环境动态变化[4]。随着电力系统对运行稳定性、安全性要求持续提升，变电感知技术逐步向高精度、全域化方向迭代升级。各类新型传感设备不断落地应用，可精准捕捉设备温度、机械振动、绝缘状态、电流电压波动等细微参数变化，大幅缩小数据采集误差。感知覆盖范围也从主变、开关等核心设备，延伸至站内二次回路、辅助设备、电缆沟、站内环境等全区域，实现变电站运行场景无死角的数据采集。高精度全域感知体系的搭建，能够为后续状态分析、故障预判、风险管控提供真实、细致、全面的基础数据，从源头提升变电运行的精细化管控水平。

4.2 数据处理智能化与集成化发展路径

现代变电站运行过程中会产生海量、多维度的运行数据、设备数据、环境数据与运维数据，零散化、碎片化的数据处理模式，无法适配智能变电运行的发展需求。过往数据处理多以单一维度统计、简单筛选为主，不同系统数据相互独立，数据利用率偏低，难以挖掘数据背后的设备运行规律与潜在故障隐患。未来变电数据处理体系将聚焦智能化解析与集成化整合，打破各类数据系统的独立壁垒，完成不同来源、不同类型数据的统一归集与标准化处理。依托成熟的数据运算与分析逻辑，对海量数据进行分层梳理、深度解析与价值挖掘，自动甄别异常数据、筛选有效信息，构建适配变电运行场景的数据分析模型。经过集成处理的有效数据，可直接服务于设备状态评估、运行策略优化、故障溯源分析等核心工作，让海量数据转化为支撑变电站稳定运行的有效资源。

4.3 运维模式自动化与协同化升级方向

传统变电运维工作高度依赖人工落地执行，巡检排查、设备操作、参数核对等流程耗时较长，作业质量容易受人员经验、现场环境等因素干扰，整体运维效率偏低。智能装备与数字化系统的普及，彻底改变传统人工主导的运维模式。大量重复性、常规性的运维作业可以通过自动化设备独立完成，减少人工介入频次，降低人为操作带来的安全隐患。运维管理不再局限于站内单一作业场景，逐步打通现场作业、后台管控、远程调度的业务链路。不同作业环节深度衔接，重构变电运维工作流程，有效提升运维作业的规范性与高效性。

4.4 全站智能一体化融合发展趋势

现阶段多数智能变电站仅实现部分设备、单一环节的智能化改造，感知、数据、运维、调控等系统相互独立，功能衔接不够顺畅，整体智能化水平存在明显短板。电力电网系统规模化、智能化升级的大背景下，变电站发展核心方向聚焦于全站智能一体化融合。未来变电站将对站内所有设备、运行系统、管控模块进行统筹整合，打通设备运行、数据传输、分析决策、运维管控、远程调度的全流程链路。消除各系统之间的运行壁垒，实现硬件设备兼容适配、软件系统互联互通、运行数据互通共享，构建完整的全站智能运行体系。从设备状态感知、数据智能分析，到故障自主预警、运维精准落地、运行动态调控，全部环节实现一体化闭环运行[5]。这种一体化融合模式能够最大化发挥智能技术的应用价值，提升变电站整体运行的稳定性、高效性与自主性，适配现代电力系统安全、高效、智能的发展需求。

结束语

变电站智能化建设是电网数字化转型的重要环节，各类智能技术的落地应用，有效改善传统变电运行的作业弊端。现阶段智能设备适配不足、数据流转不畅、运维体系不完善等问题，依旧制约智能化建设推进质量。通过优化感知采集精度、完善数据处理体系、升级运维协同模式、推进全站一体化融合，能够持续完善变电智能化运行体系，提升变电运行的精细化与规范化程度，保障电力系统平稳可靠运转。

参考文献

[1] 侯昕瑜, 刘超. 智能化技术在变电站运行管理中的应用研究 [J]. 消费电子,2026(2):215-217.

[2] 强德毓. 智能化变电站运行维护技术应用与实施要点 [J]. 中国科技纵横,2025(16):7-9.

[3] 潘天宇. 故障诊断技术在智能变电站异常运行处理中的应用 [J]. 光源与照明,2026(5):128-130.

[4] 王鹏, 余雪芳. 智能化技术在变电站运行维护中的应用研究 [J]. 建筑与施工,2025,4(24):129-130.

[5] 张伟. 智能变电站自动化调试技术的应用研究 [J]. 内蒙古科技与经济,2025(3):147-149,153.