

变电站数智化综合运维的应用

李志荣 李文才

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: 在电力行业朝着智能化、高效化加速发展的当下,本文聚焦变电站数智化综合运维的应用。阐述了核心技术体系,涵盖物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术;介绍了设备状态监测、智能巡检等应用场景;说明了系统架构的感知、网络、平台、应用层;提出了标准化建设、分阶段推进等实施路径。通过数智化综合运维,可提升变电站运维效率与质量,保障电力系统稳定运行。

关键词: 变电站;数智化综合运维;核心技术体系;应用场景;实施路径

引言:变电站作为电力系统关键枢纽,其运维水平直接影响供电可靠性。传统运维模式面临效率低、响应慢等问题,难以满足电力行业日益增长的需求。在此背景下,数智化综合运维应运而生,借助物联网、大数据等先进技术,实现运维工作的智能化、高效化,为变电站稳定运行提供有力支撑,成为电力行业发展的重要方向。

1 变电站数智化综合运维的核心技术体系

1.1 物联网技术

设备状态感知与数据采集依托各类高精度传感设备,实现对变电站一次设备、二次设备运行参数的全面捕捉,覆盖设备电压、电流、温度等关键指标,确保数据采集的准确性与全面性^[1]。传感器网络构建与部署结合变电站场地布局、设备分布特点,优化节点布设位置,兼顾信号覆盖范围与数据传输效率,形成全域无死角的感知网络,保障各类设备运行数据可实时捕捉。实时数据传输采用高速、可靠的传输协议,将采集到的原始数据快速传输至处理终端,边缘计算技术就近完成数据的初步处理与筛选,过滤无效数据、提炼关键信息,减少数据传输压力,提升运维响应速度。

1.2 大数据分析 with 挖掘

多源异构数据整合与清洗针对变电站运维过程中产生的监控数据、检修记录、设备台账等不同来源、不同格式的数据进行统一梳理,剔除异常数据、补齐缺失数据,规范数据标准,形成结构化、标准化的运维数据库。运维数据特征提取与模式识别通过专业算法对整合后的数据进行深度分析,提炼能够反映设备运行状态、运维规律的核心特征,识别数据背后隐藏的运行模式和异常趋势,为设备状态评估提供数据依据。设备健康状态评估与预测基于提取的特征数据和识别的运行模式,建立科学的评估模型,精准判断设备当前健康水平,预判设备未来运行趋势和可能出现的故障,为提前开展运维工

作提供支撑。

1.3 人工智能技术

机器学习在故障诊断中的应用通过训练各类算法模型,让系统能够自主学习不同故障类型的特征表现,实现故障的快速识别、精准定位,减少人工诊断的工作量和误差,提升故障诊断的效率和准确性。深度学习在图像识别与行为分析中的实践聚焦变电站现场图像监控数据,通过深度神经网络对设备外观、现场环境、人员操作等进行智能分析,及时发现设备异常、违规操作等问题,防范安全风险。智能决策支持系统构建整合各类技术成果和数据资源,结合运维经验形成智能决策模型,为变电站运维计划制定、故障处理、资源调配等提供科学建议,提升运维决策的合理性和高效性。

1.4 数字孪生技术

变电站物理实体与数字模型的映射实现变电站物理设备、场地环境、运行流程的全维度数字化复刻,确保数字模型与物理实体在参数、状态、行为上高度一致,搭建起物理世界与数字世界的桥梁。虚拟仿真与实时交互依托数字模型开展各类虚拟运维仿真操作,模拟设备运行状态变化、故障发生过程以及运维操作效果,同时实现数字模型与物理实体的实时联动,通过数字模型可实时查看物理设备运行状态,也可通过虚拟操作指导现场实际运维工作。运维策略优化与风险预控基于数字孪生平台的仿真分析和实时数据反馈,对现有运维策略进行持续优化,提前识别运维过程中可能出现的风险点,制定针对性防控措施,降低运维风险,提升变电站运维的智能化、精细化水平。

2 变电站数智化综合运维的应用场景

2.1 设备状态监测与预警

变压器、断路器等关键设备在线监测实现对核心设备运行全周期参数的持续捕捉,覆盖设备运行过程中的

各类关键参数,精准掌握设备运行态势,避免设备隐性故障积累^[2]。异常状态识别与早期预警通过对监测数据的实时分析,捕捉设备运行中的异常波动,精准识别各类非正常运行状态,提前发出预警信息,为故障处置争取充足时间。运维资源动态调度根据设备预警等级、运行状态以及运维任务优先级,合理调配人力、物力及技术资源,优化资源配置效率,确保运维工作高效推进。

2.2 智能巡检与缺陷管理

机器人/无人机自主巡检替代传统人工巡检模式,适配变电站复杂场地环境和设备分布特点,能够自主完成指定区域的巡检任务,突破人工巡检的空间限制和效率瓶颈,提升巡检工作的覆盖面和及时性。图像识别与缺陷自动分类依托深度学习技术,对巡检过程中采集的设备图像、视频数据进行智能分析,精准识别设备外观破损、部件松动、油污泄漏等各类缺陷,按照缺陷严重程度和影响范围完成自动分类,为缺陷处置提供清晰指引。巡检任务智能规划与执行结合变电站设备分布、巡检周期和设备健康状态,自动生成最优巡检路线和巡检任务,明确巡检重点和巡检标准,巡检过程中实时反馈进度,确保巡检任务规范落地、不重不漏。

2.3 操作票智能生成与执行

基于规则引擎的操作票自动生成整合变电站设备台账、运行规程和运维经验,建立标准化操作规则库,根据作业任务和设备当前运行状态,自动生成符合规范的操作票,规避人工填写过程中可能出现的疏漏和错误,保障操作票的准确性和规范性。操作过程安全校验与防误闭锁在操作执行全过程开展安全校验,对每一步操作流程进行合规性检查,识别可能存在的误操作风险,对违规操作进行有效闭锁,防范误操作引发的安全事故,保障作业人员和设备安全。远程操作与现场作业协同依托网络传输技术和智能控制设备,实现部分运维操作的远程管控,远程下达操作指令并实时反馈操作效果,同时联动现场作业人员,实现远程与现场的高效配合,提升作业执行效率。

2.4 应急指挥与决策支持

故障快速定位与影响范围分析结合数字孪生模型、大数据分析 and 物联网监测数据,在故障发生后迅速锁定故障位置,解析故障成因,全面分析故障对变电站运行、电网供电的影响范围和程度,为应急处置提供精准依据。应急预案智能匹配与执行根据故障类型、影响范围和严重程度,自动匹配最优应急预案,明确应急处置流程、责任分工和操作标准,引导应急人员规范开展处置工作,提升应急处置的专业性和高效性。多部门协同指挥平台构建

整合运维、调度、检修等多个相关部门的资源和信息,搭建统一的协同指挥平台,实现各部门信息实时共享、指令快速传达、行动高效配合,打破部门壁垒,提升应急指挥的协同性和整体性。

3 变电站数智化综合运维的系统架构

3.1 感知层

智能传感器与执行机构部署结合变电站设备分布与运维需求,合理布设各类智能传感器与执行机构,覆盖全站核心设备与关键区域,确保各类运行参数与现场状态可精准捕捉、指令可有效执行^[3]。现场总线与无线通信网络构建兼顾通信稳定性与灵活性,搭建适配变电站场景的现场总线与无线通信网络,实现感知层设备与上层系统的高效联动,保障数据传输的实时性与可靠性。数据采集与预处理模块设计优化数据采集流程,搭建专业化预处理模块,对采集到的原始数据进行筛选、校准与规范,剔除干扰信息,统一数据格式,为数据上传与后续处理提供可靠支撑。

3.2 网络层

专用通信网络与公网融合采用专用通信网络保障核心运维数据传输安全,结合公网资源拓展通信覆盖范围与灵活性,实现专用网络与公网的有机融合,兼顾数据传输的安全性及便捷性。数据安全传输机制构建全方位数据安全防护体系,采用加密传输、身份认证等技术手段,建立完善的数据安全传输机制,防范数据泄露、篡改与攻击,保障运维数据在传输过程中的完整性与安全性。网络拓扑优化与冗余设计结合变电站运维业务需求,优化网络拓扑结构,减少数据传输节点与延迟,同时进行网络冗余设计,规避单点故障风险,确保网络运行的稳定性与连续性,保障运维工作不受网络故障影响。

3.3 平台层

云计算与边缘计算协同整合云计算与边缘计算优势,构建协同工作模式,边缘计算就近处理实时性要求高的数据,云计算承担大规模数据存储、深度分析与全局调度任务,提升数据处理效率与系统响应能力。大数据平台构建与数据治理搭建专业化大数据平台,实现各类运维数据的集中存储与统一管理,同时开展全面的数据治理工作,规范数据标准、清理无效数据、完善数据关联,提升数据质量与可用性。通用服务组件开发围绕运维业务核心需求,开发各类通用服务组件,涵盖数据解析、算法支撑、接口适配等功能,提升平台的通用性与扩展性,为上层应用开发提供便捷支撑。

3.4 应用层

运维业务应用系统集成整合设备监测、智能巡检、

操作票管理、应急指挥等各类运维业务应用系统,打破系统间数据壁垒,实现业务流程的无缝衔接与信息共享,提升运维工作的一体化水平。人机交互界面设计遵循简洁、高效、易用的原则,设计专业化人机交互界面,清晰呈现运维数据、设备状态与业务流程,简化操作步骤,便于运维人员快速掌握与操作。移动应用与远程访问支持开发适配移动终端的应用程序,搭建安全可靠的远程访问通道,支持运维人员随时随地查看设备状态、处理运维任务、接收预警信息,打破时间与空间限制,提升运维工作的灵活性与高效性。

4 变电站数智化综合运维的实施路径

4.1 标准化建设

数据接口与通信协议标准化统一各类设备、系统的数据接口规范,明确通信协议要求,消除不同设备、不同系统间的数据交互障碍,实现各类运维数据的顺畅流通与高效共享^[4]。运维流程与操作规范标准化梳理数智化运维全流程环节,明确各环节操作要求与质量标准,制定统一的运维流程与操作规范,规范运维人员作业行为,提升运维工作的标准化、规范化水平。设备编码与标识体系标准化建立统一的设备编码与标识规则,对变电站各类设备进行规范编码与标识,实现设备全生命周期可追溯,为设备监测、巡检、检修等运维工作提供精准支撑。

4.2 分阶段推进策略

试点示范与经验总结选取具备代表性的变电站开展数智化运维试点工作,探索适配不同场景的实施模式与技术路径,积累实践经验并及时梳理总结,提炼可复制、可推广的成功做法,规避实施过程中可能出现的问题。局部推广与系统集成在试点经验总结完善的基础上,逐步扩大实施范围,开展局部区域数智化运维推广工作,同步推进各类技术、系统的集成融合,解决推广过程中出现的衔接问题,提升系统整体运行效能。全面覆盖与持续优化在局部推广成效显著的前提下,实现变电站数智化运维全面覆盖,建立常态化优化机制,根据运维业务需求变化与技术发展趋势,持续优化系统功能、完善运维流程,提升数智化运维水平。

4.3 组织与人员变革

运维组织架构调整结合数智化运维模式特点,优化调整现有运维组织架构,精简冗余环节,明确各部门、各岗位职责分工,构建扁平化、高效化的运维组织体系,适配

数智化运维工作需求。人员技能培训与转型开展针对性的技能培训工作,提升运维人员对物联网、大数据、人工智能等新技术的掌握能力,培养兼具技术素养与业务能力的复合型运维人才,推动传统运维人员向数智化运维人才转型。跨部门协作机制建立打破部门之间的工作壁垒,建立健全跨部门协作机制,明确协作流程与沟通方式,促进运维、检修、调度等各部门高效配合,形成数智化运维工作合力。

4.4 技术与业务融合

业务需求驱动的技术选型立足变电站数智化运维实际业务需求,结合各变电站场地条件、设备状况等实际情况,科学选型适配的技术与设备,避免技术与业务脱节,确保技术应用能够切实解决运维工作中的实际问题。技术赋能下的业务流程再造依托数智化技术优势,对传统运维业务流程进行重构优化,简化冗余环节、提升作业效率,实现运维业务流程的智能化、高效化转型,充分发挥技术对运维业务的赋能作用^[5]。持续迭代与创新能力的培养关注数智化技术前沿发展动态,加强技术研发与创新投入,培养自身技术创新能力,建立技术与业务融合的持续迭代机制,推动数智化运维技术与业务不断升级,适应电力行业高质量发展需求。

结束语

变电站数智化综合运维是电力行业发展的必然选择。通过构建核心技术体系、拓展应用场景、优化系统架构、推进实施路径,能显著提升运维水平。这需要各方协同合作,持续创新探索,不断优化完善数智化运维模式,为电力系统的安全稳定运行筑牢坚实基础,推动电力行业高质量发展迈向新台阶。

参考文献

- [1]戴红波,杨金明,陶金,等.数智化助推变电运维管理再上新台阶[J].农电管理,2024,(09):50-51.
- [2]樊建鹏.智能变电运维技术在电力工程中的实践[J].电力设备管理,2024,(17):188-190.
- [3]张建华.变电运维技术中的智能化技术分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(06):299-301.
- [4]陈思逊.智能化技术在变电运维中的应用[J].电子技术,2022,51(12):238-239.
- [5]尤彬彬.变电运维中的智能巡检机器人应用[J].电子技术,2023,52(12):312-313.