

# 变电一次设备智能化运维管理系统研究

邬青 李莹

内蒙古电力(集团)有限责任公司乌海供电公司 内蒙古 乌海 016000

**摘要:** 本文聚焦变电一次设备智能化运维管理系统展开研究。阐述了物联网、大数据分析、人工智能等关键技术基础;从业务、性能、用户三方面分析系统需求;随后介绍分层架构设计,包括感知、网络、平台、应用层;还研究设备状态监测、故障诊断、运维决策支持等关键技术。旨在通过智能化手段提升运维效率、降低成本、保障设备安全,为变电一次设备运维管理智能化转型提供理论与技术支持。

**关键词:** 变电一次设备;智能化运维;状态监测

引言:在电力行业快速发展的当下,变电一次设备的安全稳定运行至关重要。传统运维管理模式存在效率低、成本高、难以精准掌握设备状态等问题。随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的发展,智能化运维管理成为必然趋势。研究变电一次设备智能化运维管理系统,能够实现对设备状态的实时监测、故障的精准诊断与快速处置,优化运维策略,提升运维管理的科学性与前瞻性,具有重要的现实意义。

## 1 变电一次设备智能化运维管理系统相关技术基础

### 1.1 物联网技术

物联网技术是变电一次设备智能化运维管理系统的的核心支撑,通过感知终端、通信协议与网络传输等关键模块,实现对变电一次设备全生命周期状态的精准感知与数据交互。该技术采用射频识别、红外传感、振动传感等多种感知设备,部署于变压器、断路器、隔离开关等核心设备的关键部位,实时采集设备运行温度、振动频率、绝缘状态等核心参数<sup>[1]</sup>。同时,依托ZigBee、LoRa、5G等多元通信技术,构建低延迟、高可靠、广覆盖的数据传输通道,将分散的设备状态数据汇聚至系统平台,为后续的数据分析与智能决策提供全面、实时的数据支撑,打破传统运维中“被动巡检、数据孤立”的局限。

### 1.2 大数据分析技术

大数据分析技术为变电一次设备智能化运维提供了数据深度挖掘与价值转化的核心能力。变电一次设备运维过程中产生的海量数据,涵盖设备运行参数、历史故障记录、巡检日志、环境监测数据等,具有数据量大、类型复杂、价值密度低的特点。大数据分析技术通过数据清洗、转换、集成等预处理操作,剔除冗余与异常数据,提升数据质量;借助分布式计算框架、数据挖掘算法(如聚类分析、关联规则挖掘、时序分析等),对预

处理后的数据进行深度分析,挖掘设备运行状态与故障之间的潜在关联、设备性能衰减规律以及环境因素对设备运行的影响。通过该技术实现对设备运行趋势的精准预判,为运维策略优化提供数据驱动的决策依据,提升运维管理的科学性与前瞻性。

### 1.3 人工智能技术

人工智能技术是提升变电一次设备运维管理智能化水平的核心驱动力,其涵盖的机器学习、深度学习、专家系统等关键技术,广泛应用于设备故障诊断、状态评估、运维决策等核心环节。在故障诊断方面,通过构建深度学习模型(如卷积神经网络、循环神经网络),利用海量历史故障数据训练模型,实现对设备异常信号的自动识别与故障类型的精准判定,相较于传统故障诊断方法,具有更高的诊断效率与准确率;在状态评估方面,借助机器学习算法构建设备状态评估模型,综合考量设备运行参数、老化程度、维护记录等多维度因素,实现对设备健康状态的动态评估。

## 2 变电一次设备智能化运维管理系统需求分析

### 2.1 变电一次设备运维管理业务需求

变电一次设备运维管理业务核心是实现运维流程规范、自动与智能,提升效率、降低成本、保障安全。具体需求包括:实时监测设备状态,不间断监测变压器等核心设备关键参数并预警异常;快速诊断与处置故障,精准定位故障点,自动生成并推送处置方案;智能化制定运维计划,基于设备状态评估结果与运行趋势,生成个性化计划,实现“状态检修”;全流程管理运维业务,涵盖巡检任务派发等全环节数字化管理,实现闭环管控,提升运维管理的规范性与可追溯性。

### 2.2 系统性能需求

变电一次设备智能化运维管理系统性能决定其运行稳定性与可靠性,需满足多维度指标。数据处理上,高

效处理海量数据，支持每秒数万条数据实时接入，传输延迟不超500ms；系统稳定性上，7×24小时不间断运行，平均无故障运行时间不低于8760小时，有容错与灾备机制；扩展性上，采用模块化架构，适配不同规模变电站，支持新增设备与业务功能快速接入；用户访问上，界面响应不超2秒，支持多用户同时在线且无明显卡顿<sup>[2]</sup>。

### 2.3 用户需求

变电一次设备智能化运维管理系统用户需求围绕不同角色展开。运维操作人员需便捷查看设备状态、获清晰异常预警、简单故障指引及高效工单处理，界面简洁、操作简便；运维管理人员要全面统计分析数据、可视化展示设备状态、精准决策支持及监管流程，实时掌握运维进展与设备状况；技术维护人员需便捷维护、快速排查故障、数据备份恢复及功能升级支持，有完善日志与模块化架构；所有用户都有数据安全需求，系统需严格身份认证、权限管控与数据加密，保障操作与数据安全。

## 3 变电一次设备智能化运维管理系统架构设计

### 3.1 系统总体架构

变电一次设备智能化运维管理系统总体架构采用分层设计理念，自上而下分为感知层、网络层、平台层与应用层，各层之间职责清晰、协同联动，构建起“数据采集-传输-处理-应用”的完整闭环。感知层作为系统的数据源头，负责设备状态信息的采集；网络层承担数据传输职责，保障数据高效、可靠流转；平台层为系统核心支撑层，提供数据存储、计算与智能分析能力；应用层面向用户需求，提供各类运维管理功能应用。该分层架构具备良好的扩展性与兼容性，能够实现各层功能的独立升级与灵活适配，同时通过标准化的接口设计，确保各层之间的数据交互顺畅，为系统的稳定运行与功能拓展奠定坚实基础，全面支撑变电一次设备运维管理的智能化转型。

### 3.2 感知层设计

感知层设计以“全面感知、精准采集、稳定可靠”为核心目标，针对变电一次设备的不同类型与运行特性，部署多元化的感知终端与采集设备。具体而言，针对变压器，部署油中溶解气体传感器、绕组温度传感器、振动传感器等，采集油色谱数据、温度数据、振动数据等核心参数；针对断路器，部署SF<sub>6</sub>气体密度传感器、分合闸线圈电流传感器、机械特性传感器等，监测气体状态、操作机构性能等关键信息；针对隔离开关、避雷器等设备，部署绝缘传感器、泄漏电流传感器等，采集绝缘状态数据。感知层采用标准化的采集接口与数

据格式，确保不同类型传感器的数据可兼容；配备本地数据缓存模块，应对网络中断等突发情况，保障数据不丢失；通过低功耗设计，延长感知设备使用寿命，降低运维成本，实现对变电一次设备运行状态的全方位、不间断感知。

### 3.3 网络层设计

网络层设计旨在构建“多网融合、高效可靠、安全可控”的数据传输通道，实现感知层与平台层之间的数据高效流转。基于变电一次设备运维场景的多样性，网络层采用“5G+工业以太网+物联网专用网络”的多网融合架构：对于实时性要求高、数据传输量大的场景，采用5G网络实现高速率、低延迟传输；对于变电站内部设备之间的数据交互，采用工业以太网保障传输的稳定性和可靠性；对于偏远区域、信号薄弱的设备监测点，采用LoRa、ZigBee等物联网专用网络，实现广覆盖、低功耗的数据传输<sup>[3]</sup>。网络层部署防火墙、入侵检测系统、数据加密模块等安全防护设备，对传输数据进行加密处理，防范数据泄露与网络攻击；配备网络状态监测模块，实时监控网络运行状态，及时发现并处置网络故障，保障数据传输的连续性与安全性。

### 3.4 平台层设计

平台层作为系统的核心支撑层，采用“云计算+边缘计算”协同架构，整合数据存储、计算、智能分析等核心能力，为应用层提供全方位的技术支撑。在数据存储方面，构建分布式数据存储集群，采用关系型数据库（如MySQL）存储结构化数据（如设备基础信息、运维工单数据），采用非关系型数据库（如MongoDB、HBase）存储非结构化数据（如传感器原始数据、故障波形数据），实现海量运维数据的安全、高效存储；在计算能力方面，依托云计算平台提供弹性扩展的计算资源，支撑复杂智能算法的运行与大规模数据的批量分析，同时利用边缘计算节点处理实时性要求高的本地数据，降低核心网络压力；在智能分析方面，集成大数据分析引擎与人工智能算法库，提供数据挖掘、故障诊断、状态评估等智能分析服务，实现数据价值的深度转化，为应用层功能的实现提供核心技术支撑。

### 3.5 应用层设计

应用层设计以用户需求为导向，采用模块化设计理念，构建覆盖变电一次设备运维全流程的功能模块，实现运维管理的智能化与便捷化。核心功能模块包括：设备状态监测模块，实时展示设备运行参数、状态曲线与异常预警信息，支持多维度数据查询与可视化展示；故障诊断模块，自动识别设备异常并精准判定故障类

型,生成故障处置方案并推送至运维人员;状态评估模块,动态评估设备健康状态,生成设备健康报告与性能衰减趋势预测;运维决策支持模块,基于设备状态评估结果与运行趋势,自动生成个性化运维计划与资源调配方案;工单管理模块,实现巡检任务派发、维护记录录入、工单流转与归档的全流程管理。各模块之间通过标准化接口实现数据共享与协同联动,同时支持根据用户需求进行功能模块的灵活增减与定制化配置。

#### 4 变电一次设备智能化运维管理系统关键技术研究

##### 4.1 设备状态监测技术研究

设备状态监测技术研究聚焦于提升监测精度、拓展监测维度与保障监测可靠性,为系统精准掌握设备运行状态提供核心技术支撑。研究内容主要包括:多维度感知终端优化设计,针对不同变电一次设备的运行特性,研发高精度、低功耗、抗干扰的专用传感器,如适用于变压器的高精度油中溶解气体传感器、适用于断路器的高频振动传感器,提升核心参数的采集精度;监测数据校准与降噪技术研究,针对传感器采集数据中存在的噪声与误差,采用自适应滤波、小波分析等数据处理算法,实现数据的精准校准与降噪,提升数据质量;多源监测数据融合技术研究,整合同一设备不同传感器、不同设备同类传感器的监测数据,采用数据融合算法消除数据冗余与冲突,实现对设备状态的全面、精准评估。另外,开展监测设备远程运维技术研究,实现对感知终端运行状态的远程监测与故障诊断,保障监测系统的稳定持续运行。

##### 4.2 故障诊断技术研究

故障诊断技术研究旨在提升变电一次设备故障诊断的效率、准确率与智能化水平,实现故障的早发现、早定位、早处置。核心研究方向包括:基于深度学习的故障诊断模型构建,结合变电一次设备故障的特征规律,优化卷积神经网络、循环神经网络等模型结构,利用海量历史故障数据与仿真数据训练模型,提升模型对复杂故障、早期轻微故障的识别能力;故障特征提取技术研究,针对设备故障信号的非线性、非平稳特性,采用经验模态分解、短时傅里叶变换等信号处理技术,精准提取故障特征向量,为故障诊断模型提供高质量的输入数据;多模态故障诊断技术研究,融合设备运行参数、振动信号、声音信号、图像数据等多模态信息,构建多源

信息融合的故障诊断模型,提升故障诊断的可靠性与鲁棒性;开展故障诊断结果可视化与解释性研究,让运维人员直观理解诊断依据,提升对诊断结果的信任度与故障处置的针对性<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 运维决策支持技术研究

运维决策支持技术研究核心目标是构建智能化的运维决策体系,实现运维资源的优化配置与运维策略的科学制定。主要研究方向包括:基于设备状态的运维策略优化技术,结合设备状态评估结果、剩余寿命预测数据,构建运维决策模型,自动生成“状态检修”“预防性维护”等个性化运维策略,替代传统固定周期运维模式,降低运维成本;运维资源优化调度技术研究,综合考量运维人员技能、运维工具、备品备件、故障紧急程度等因素,采用智能调度算法,实现运维任务与资源的最优匹配,提升故障处置效率;应急决策支持技术研究,针对设备突发重大故障,构建应急决策模型,整合应急预案、专家经验与实时故障数据,快速生成应急处置方案,指导运维人员开展应急抢修工作;另外,开展运维决策效果评估技术研究,建立决策效果评价指标体系,通过实际运维效果验证决策方案的合理性,持续优化决策模型,提升运维决策的科学性与有效性。

##### 结束语

变电一次设备智能化运维管理系统研究,顺应电力行业发展需求,通过融合多种先进技术,构建了完整的系统架构,并深入研究了关键技术。该系统实现了运维流程的规范化、自动化与智能化,提升了运维效率与质量,降低了运维成本,保障了设备安全稳定运行。未来,随着技术不断进步,系统将进一步完善与优化,为电力行业的智能化发展提供更有力的支撑,推动电力运维管理迈向新高度。

##### 参考文献

- [1]李红红.智能电网中变电一次设备的运维管理研究[J].百科论坛电子杂志,2020(14):1173-1174.
- [2]唐韬.变电站一次设备智能化技术研究与应用[J].大众标准化,2025(18):142-144.
- [3]严安.变电站电气一次设备智能化技术运用[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):242-244.
- [4]陈国宁.智能变电站中电力一次设备的智能化设计及发展[J].电力设备管理,2024(11):150-152.