

变电站电气一次设备智能化问题研究

钟锡添

广西华友锂业有限公司 广西 玉林 537000

摘要：在能源转型与智能电网快速发展的时代背景下，变电站的智能化建设成为电力行业的重要趋势。本文聚焦变电站电气一次设备智能化问题展开研究。首先阐述其重要意义，包括提高电网运行可靠性、增强适应性与灵活性、提升运维效率及促进电力系统智能化发展。接着介绍相关技术，如传感器、通信、智能控制和数据分析处理技术。随后指出当前存在的问题，如设备感知精度与稳定性不足、技术标准与接口不统一等。最后针对这些问题提出相关策略，涵盖提升设备感知与硬件可靠性、统一技术标准与接口规范等方面，旨在为变电站电气一次设备智能化发展提供参考。

关键词：变电站；电气一次；设备智能化；问题研究

引言：随着电力行业的快速发展，智能电网建设成为必然趋势，变电站电气一次设备智能化作为其中的关键环节，受到广泛关注。电气一次设备是变电站的核心组成部分，其智能化水平直接影响着电网的运行质量与效率。实现变电站电气一次设备智能化，能够更好地适应电力系统的复杂变化，满足日益增长的用电需求，提升电力供应的稳定性与可靠性。然而，在实际推进过程中，变电站电气一次设备智能化面临着诸多问题与挑战。深入探究这些问题并提出有效的解决策略，对于推动变电站电气一次设备智能化进程，促进智能电网建设具有重要意义。

1 变电站电气一次设备智能化的意义

1.1 提高电网运行的可靠性

变电站电气一次设备智能化可显著提升电网运行可靠性。传统设备难以实时精准监测自身状态，故障隐患难以及时察觉。而智能化设备借助先进传感器，能实时收集运行参数，如温度、电流等，经数据分析提前预警潜在故障。同时，智能控制技术可快速响应异常，自动隔离故障区域，避免故障扩大。此外，智能化设备具备自诊断和自修复能力，能自动调整运行参数，减少非计划停机。这一系列优势有效降低了电网故障发生率，保障了电力持续稳定供应，为经济社会稳定运行提供坚实电力支撑。

1.2 增强电网的适应性和灵活性

在能源结构多元化和用电需求复杂化的背景下，变电站电气一次设备智能化能极大增强电网适应性与灵活性。智能化设备可快速感知新能源发电的波动，如风电、光伏发电的不确定性，通过智能控制技术及时调整运行模式，实现与新能源发电的友好接入。面对不同时

段、不同区域的用电负荷变化，智能化设备能灵活调配电力资源，优化潮流分布，提高电网对负荷变化的响应速度。

1.3 提升变电站的运维效率

变电站电气一次设备智能化对提升运维效率作用显著。传统运维依赖人工定期巡检，工作量大且难以及时发现隐患。智能化设备实现了状态在线监测，运维人员可远程获取设备实时数据，精准掌握设备运行状况，减少现场巡检次数。同时，借助大数据分析和人工智能算法，能对设备故障进行精准诊断和预测，提前安排维护计划，实现从“计划检修”向“状态检修”转变^[1]。

1.4 促进电力系统的智能化发展

变电站电气一次设备智能化是电力系统智能化发展的关键基础。电气一次设备作为电力系统的核心组成部分，其智能化升级可带动整个电力系统的智能化变革。智能化设备之间通过高速通信网络实现信息互联互通，构建起智能电网的信息物理系统。这使得电力系统能够实现全局优化调度，根据实时供需情况动态调整发电、输电和配电策略，提高能源利用效率。同时，智能化设备与用户侧智能终端的互动，可实现需求响应，引导用户合理用电，促进电力系统向更加智能、高效、绿色的方向发展。

2 变电站电气一次设备智能化技术

2.1 传感器技术

传感器技术是变电站电气一次设备智能化的基础支撑。现代智能变电站广泛集成温度、振动、局部放电、油色谱等多类型传感器，实现设备状态全维度感知。例如，变压器智能监测系统通过油中溶解气体传感器实时捕捉氢气、甲烷等特征气体浓度变化，结合微水传感

器监测油品受潮程度，提前预警绕组过热或绝缘劣化风险；GIS设备采用局部放电传感器定位导电微粒、电极毛刺等缺陷，检测灵敏度达5pC；断路器分合闸线圈电流传感器可记录动作波形，辅助分析机械特性退化趋势。传感器技术正朝着微型化、自供能方向发展，如石墨烯复合材料提升套管监测精度，振动能量采集技术实现传感器免维护运行，为设备状态评估提供更精准的数据源。

2.2 通信技术

通信技术是智能设备数据交互的神经中枢。IEC61850标准构建了分层通信架构，过程层采用GOOSE报文实现保护动作毫秒级传输，SMV采样值同步误差控制在1μs以内；站控层通过MMS协议完成设备台账与实时数据融合，某省级电网公司应用案例显示，双网冗余架构使报文传输时延稳定在4ms以下。无线通信技术补充了传统布线局限，LoRa模块实现电缆沟温度监测，5G专网支持无人机巡检视频实时回传。时间同步系统采用IEEE1588协议，将全站设备时间偏差压缩至100ns，确保故障录波数据时空一致性。通信安全方面，纵向加密装置对控制指令实施国密算法加密，网络流量监测系统可阻断异常TCP连接，保障数据传输的保密性与完整性。

2.3 智能控制技术

智能控制技术赋予设备自主决策能力。数字化操作机构取代传统机械结构，某型号智能断路器配备微处理器控制箱，动作时间误差控制在±2ms，支持远程参数修改与保护定值分钟级切换；隔离开关采用电机驱动+位置反馈双冗余设计，分合闸到位信号通过数字量输出，消除辅助触点接触不良隐患。自适应控制算法根据负载率动态调整变压器分接头，某220kV变电站应用后电压合格率提升0.15个百分点。智能接地线管理系统通过RFID标签识别，操作时间缩短40%，防误闭锁正确率达100%。区域自治控制架构在北美智能变电站项目中得到验证，区域控制器可独立处理80%的本地故障，将故障隔离时间从小时级压缩至秒级。

2.4 数据分析与处理技术

数据分析技术是设备智能化的核心引擎。模糊综合评价法构建健康度评估模型，某省级电网公司应用案例显示，该模型提前35天预警主变绕组过热故障，避免非计划停电损失。深度学习算法在故障分类中表现突出，某试点项目采用LSTM网络分析局放信号，故障识别准确率达92%。寿命预测模块基于蒙特卡洛模拟，结合设备负载率与环境参数，动态调整检修周期，某变电站应用后检修成本降低18%。边缘计算技术实现数据本地预处理，220kV智能变电站变压器油温监测模块每30秒上传一

次数据，异常波动触发自动报警，减少90%的无效数据传输。数字孪生技术构建设备三维模型，某运维班组通过扫描设备二维码调取内部结构分解图，缺陷发现率提高26%^[2]。

3 变电站电气一次设备智能化存在的问题

3.1 设备感知精度与稳定性不足

当前变电站电气一次设备智能化中，设备感知精度与稳定性问题突出。传感器作为感知核心，易受环境因素干扰，如强电磁场会使温度、振动等传感器测量数据产生偏差，影响对设备状态的准确判断。部分传感器自身质量欠佳，长期运行后性能衰减，导致测量精度下降，无法及时捕捉设备细微变化。而且，设备感知的稳定性也难以保证，在复杂工况下，传感器可能出现信号中断、数据丢失等情况，使得设备状态监测不连续，为后续的故障预警和决策带来困难，增加电网运行风险。

3.2 技术标准与接口不统一

变电站电气一次设备智能化领域，技术标准与接口不统一是亟待解决的问题。不同厂家生产的设备采用各自的技术标准，在数据格式、通信协议等方面存在差异，导致设备之间难以实现无缝对接和互联互通。例如，某些智能断路器和智能变压器在通信接口上互不兼容，无法进行数据交互和协同控制。这不仅增加了系统集成的难度和成本，还限制了智能化功能的充分发挥。同时，缺乏统一标准也不利于设备的维护和升级，给变电站的智能化建设和管理带来诸多不便。

3.3 智能化运维体系不完善

目前变电站电气一次设备智能化运维体系尚不完善。一方面，运维数据的整合与分析能力不足，大量设备运行数据分散存储，缺乏有效的整合手段，难以挖掘数据背后的潜在价值，无法为设备状态评估和故障预测提供有力支持。另一方面，运维流程不够规范和优化，在故障处理过程中，存在信息传递不及时、协调不顺畅等问题，导致故障处理时间延长。此外，运维人员的智能化技术水平参差不齐，对新型智能设备的运维知识和技能掌握不足，难以满足智能化运维的需求，影响变电站的整体运维效率和质量。

3.4 安全防护能力薄弱

变电站电气一次设备智能化面临着严峻的安全防护挑战，安全防护能力较为薄弱。随着设备智能化程度的提高，其与外部网络的连接日益紧密，增加了遭受网络攻击的风险。黑客可能通过网络入侵，篡改设备控制指令，干扰设备正常运行，甚至引发电网事故。同时，设备自身的安全防护机制不完善，缺乏有效的身份认证、

访问控制和数据加密等手段，难以保障设备数据的安全性和完整性。

4 变电站电气一次设备智能化的相关策略

4.1 提升设备感知与硬件可靠性

要提升变电站电气一次设备感知与硬件可靠性，需从多方面着手。在设备感知层面，选用高精度、抗干扰能力强的传感器，如采用新型光学传感器替代传统电磁式传感器，减少强电磁场对测量数据的干扰，提高数据准确性。同时，定期对传感器进行校准和维护，确保其长期稳定运行。硬件方面，选用质量可靠、性能稳定的元器件，加强硬件的冗余设计，例如为关键控制电路设置备用模块，当主模块出现故障时能自动切换，保障设备正常运行。此外，优化硬件的散热和防护设计，防止因过热或恶劣环境导致硬件损坏。通过这些措施，提升设备感知精度，增强硬件可靠性，为变电站电气一次设备智能化提供坚实基础。

4.2 统一技术标准与接口规范

统一技术标准与接口规范是推动变电站电气一次设备智能化的关键。政府和行业协会应发挥主导作用，组织相关企业和专家制定统一、完善的技术标准和接口规范，涵盖数据格式、通信协议、设备命名规则等方面。企业在新设备研发和生产过程中，必须严格遵循这些标准和规范，确保设备之间的兼容性和互操作性。对于已投入使用的设备，可通过升级改造使其符合统一标准。同时，建立标准认证机制，对符合标准的设备颁发认证证书，引导市场选用合规设备。统一技术标准与接口规范后，不同厂家的设备能够实现无缝对接和协同工作，降低系统集成成本，提高智能化系统的整体性能和稳定性。

4.3 构建智能化运维体系

构建智能化运维体系能提升变电站电气一次设备的运维效率和质量。利用大数据、人工智能等技术，对设备运行数据进行实时采集、分析和处理，建立设备健康状态评估模型，实现故障的精准预测和预警。通过物联网技术，实现设备的远程监控和操作，运维人员无需到现场即可掌握设备运行情况，及时处理故障。同时，优化运维流程，建立标准化的运维作业指导书，规范运维人员的操作行为。加强运维人员培训，提高其对智能

化设备和系统的操作和维护能力。此外，建立运维知识库，积累设备故障处理经验和解决方案，为运维工作提供参考。智能化运维体系能够实现设备的主动运维，减少故障发生，提高变电站的可靠性和稳定性。

4.4 强化全链路安全防护

强化全链路安全防护是保障变电站电气一次设备智能化安全运行的重要举措。在网络层面，采用防火墙、入侵检测系统等网络安全设备，对变电站内部网络和外部网络进行隔离和防护，防止黑客入侵和网络攻击。对设备与网络之间的通信进行加密处理，确保数据传输的安全性。在设备层面，为设备设置强密码和身份认证机制，防止非法访问和操作。定期对设备进行安全漏洞扫描和修复，及时更新设备的固件和软件。同时，加强物理安全防护，对变电站设备进行封闭管理，设置门禁系统和监控摄像头，防止设备被盗或遭到人为破坏。建立安全应急响应机制，制定应急预案，当发生安全事件时能够迅速响应和处理，降低损失。通过全链路安全防护，保障变电站电气一次设备智能化系统的安全稳定运行^[3]。

结束语

变电站电气一次设备智能化是电力行业顺应时代发展、迈向高效可靠的关键一步。尽管当前在设备感知精度、技术标准、运维体系以及安全防护等方面存在诸多问题，但这些问题并非不可逾越。通过提升设备感知与硬件可靠性、统一技术标准与接口规范、构建智能化运维体系以及强化全链路安全防护等策略，能够有效推动问题解决。未来，随着技术的持续进步与创新，变电站电气一次设备智能化必将不断完善，为电力系统提供更稳定、高效的支撑，助力能源领域实现高质量发展，更好地满足社会对电力日益增长的需求。

参考文献

- [1] 陈飞.变电站电气一次设备智能化问题的研究综述[J].黑龙江科技信息, 2021(26):75-75.
- [2] 唐杰.变电站电气一次设备智能化问题的研究综述[J].山东工业技术, 2022(22):164.
- [3] 梁业青.智能变电站一次设备智能化的探讨和展望[J].科技广场, 2021(02):123.