

智能变电站综合自动化技术的研究与优化

卢 峰

国网呼伦贝尔供电公司项目管理中心 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘 要：当前社会科学技术迅猛发展，智能变电站逐渐向智能化和网络化方向发展，在此过程中，综合自动化控制技术在智能变电站中的有效应用，转变了以往的人力机械操作控制方式，切实提高了变电站运行稳定性，通过电子通信与电子信息处理技术的协调配合，实现变电站内一、二次设备的优化和合理配置，并对变电站设备运行情况进行准确的监视和测量，从而真正实现变电站的智能化运行。本文就此简要分析，仅供相关人员参考。

关键词：综合自动化技术；智能变电站；应用

在电子科技与信息通讯技术迅猛发展的推动下，智能化变电站在进行设备监控与保护、对计量装置和供电系统进行分隔处理等工作中获得了较大的便利，由于智能变电站系统的集成化与优化设计，变电站在自动化系统技术应用方面获得了较大发展，其代替变电站传统的二次系统的趋势越来越明显。智能变电站综合自动化技术是基于传统变电站自动化系统的智能化升级，其核心是通过数字化、网络化和人工智能技术实现电力系统的自主决策与协同管理。

1 智能变电站

1.1 技术定义。智能变电站是通过集成现代信息技术、通信技术及智能装备，实现电力设备全生命周期数字化管理与协同控制的新型变电站。其以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为技术基底，自动执行监测、保护、控制等基础功能，并支持电网实时优化决策与多系统互动。

1.2 特征。全数字化架构，所有电气量与设备状态信息均以数字信号传输，摒弃传统模拟信号电缆，提升数据精度与抗干扰能力。智能设备集成，采用智能电子设备（IED）、合并单元等实现功能集成，支持设备状态可视化与自适应调节。标准化通信协议，基于IEC 61850统一建模标准构建通信网络，实现跨厂商设备互联与数据高效共享。自主决策能力，通过程序化控制模块（如“一键顺控”）实现操作票自动生成、设备状态识别与故障快速隔离，减少人工干预。

1.3 功能演进。基础功能，自动完成信息采集、测量、保护、计量等核心操作，测量误差 $\leq 0.2\%$ ，事件记录分辨率达毫秒级。高级功能，支持电网实时自动控制与智能调节（如动态无功补偿）。通过在线分析决策优化能效，降低基本电费支出15%-20%。

1.4 社会价值。通过紧凑化设计与环保设备应用，智

能变电站可提升设备利用率30%以上，同时支持新能源大规模接入与源网荷储协同互动，成为新型电力系统建设的关键节点。

2 智能变电站自动化技术发展历程

2.1 传统控制阶段（20世纪80年代前）。人工操作主导：变电站依赖人工倒闸操作和机械式继电保护设备，运维效率低、误操作风险高，设备状态监测完全依靠现场检查。单一功能设备：保护、监控、远动装置分立运行，无数据互通，二次回路复杂且维护成本高。

2.2 微机保护技术引入（20世纪80-90年代）。数字化保护起步：晶体管、集成电路逐步替代机械式继电器，微机保护装置开始应用，实现故障快速切除和简单逻辑判断。远动RTU扩展功能：通过微处理器实现遥测、遥控功能，但保护装置与监控系统仍缺乏深度集成。

2.3 综合自动化系统阶段（20世纪90年代-2010年）。集中式架构，采用单一计算机系统完成数据采集、保护和控制功能，但存在可靠性低、扩展性差等问题。分散式架构升级，分层设计：划分站控层、间隔层，分布式测控单元实现设备级自动化。通信协议统一：IEC 60870-5系列协议推动设备互联互通，奠定标准化基础。

2.4 智能化转型阶段（2010年后）。数字化技术突破，电子式互感器、智能终端替代传统设备，实现全站信息数字化采集与传输。IEC 61850标准应用：统一信息模型和通信协议，支撑设备互操作。高级功能集成，部署智能巡检机器人、无人机，替代80%人工例行巡检任务。引入“一键顺控”技术，倒闸操作效率提升超300%，实现全流程程序化控制。

2.5 智慧化发展阶段（2020年后）。主辅设备全面感知：集成TCD变压器监测、智能无功补偿（SVG）等设备，构建全景数据平台。智能决策系统：融合数字孪

生、边缘计算技术,实现设备故障预测准确率超。云边协同架构:通过自主可控智能发电控制系统,支持35种以上智能算法并行计算,实时数据存储规模提升10倍。

3 变电站综合自动化技术

3.1 技术定义。变电站综合自动化技术是通过整合计算机、通信、电子及信息处理技术,对变电站二次设备(如继电保护、测量控制装置等)进行功能重组与优化设计,实现全站设备的实时监控、测量、控制及协调的综合性技术。其核心目标是提升运行效率、降低人工干预需求,并支持电网智能化升级。

3.2 系统架构分层。过程层,直接连接一次设备(如断路器、变压器),部署智能终端和合并单元,完成模拟量采集和开关量控制,确保数据采集精度 $\leq 0.2\%$ 。间隔层,集成保护测控装置,实现就地数据处理与逻辑判断,支持快速响应(如故障隔离时间 $\leq 20\text{ms}$)。站控层,包含监控主机、远动通信设备等,提供人机交互界面与调度中心互联,实现全站数据集中管理及指令下发。

3.3 特征。全数字化传输,通过智能传感器和执行器替代传统模拟信号电缆,提升抗干扰能力和数据一致性。网络化通信,基于IEC 61850协议构建统一通信平台,支持跨厂商设备互联与多协议兼容(如DL/T 645、Modbus-RTU)。智能控制功能,引入程序化控制模块(如“一键顺控”),实现操作票自动生成与设备状态识别,减少人工操作失误风险。冗余容错设计,采用热备冗余架构,故障切换时间 $\leq 50\text{ms}$,确保系统连续运行可靠性。

3.4 功能模块。实时监控与告警,动态展示设备状态参数(刷新频率达1秒级),异常时触发分级告警并生成事件记录(SOE分辨率 $\leq 1\text{ms}$)。保护与控制,支持自适应保护策略调整,实现故障快速定位与隔离,降低停电损失。数据协同管理,集成历史数据库与能效分析工具,通过远动接口与调度中心实时交互,支持负荷预测与峰谷电价优化。高级应用扩展,高压静止无功补偿(SVG)提升电网稳定性,智能巡视与雨水回收系统增强运维环保性,

3.5 技术优势。效率提升,人工倒闸操作时间缩短90%以上,设备利用率提升15%-30%。安全性增强,多级闭锁逻辑与容错机制使误操作风险降低至0.1%以下。成本优化,远程诊断与预防性维护策略减少40%以上现场巡检需求。

3.6 现存挑战与优化方向。标准化不足,不同厂商设备接口协议差异导致数据兼容性需人工适配。扩展性限制,现有架构对新型储能设备接入支持不足,需重构

通信协议栈。未来技术路径,深化IEC 61850-90-1标准应用,构建开放式通信架构。引入数字孪生技术实现全生命周期仿真优化,该技术正推动变电站从“功能集成”向“智能决策”跨越,成为新型电力系统的关键支撑节点。

4 智能变电站综合自动化技术优化方法

4.1 系统架构整合优化。硬件配置简化与标准化,通过集成保护和测控功能,减少设备冗余,采用统一的数据采集标准(如IEC 61850协议)实现模块化设计。构建分层分布式架构,将感知层、传输层、处理层与应用层分离,提升系统可扩展性和容错能力。网络结构优化,简化传统电缆互联结构,采用光纤通信网络替代长距离传输线路,降低电磁干扰风险。使用冗余网络拓扑设计(如双环网),确保数据实时性和可靠性。

4.2 设备与技术应用升级。智能操作模式,推广“一键顺控”技术,通过程序化控制模块自动生成操作票并执行遥控指令,减少人工干预,倒闸操作效率提升80%以上。应用高压静止无功补偿装置(SVG)和相控永磁式断路器,优化电网无功补偿和故障隔离效率。设备数字化与国产化,采用电子式互感器替代传统电磁式互感器,解决绝缘、饱和和谐振问题,提升数据采集精度。推动国产芯片和基础软件验证,降低核心设备对外依赖性,增强自主可控能力。

4.3 智能运维管理模式。全场景感知与数据分析,部署温湿度传感器、智能巡视系统等物联网设备,实现环境监测与设备状态实时感知。结合大数据分析和AI算法,对异常数据进行预测性维护,故障定位准确率提升至95%。安全防护强化,建立多层安全防护体系,覆盖主动防御、安全监测和安全配置,消除网络安全盲区。通过磁感应和二次防误技术,构建双重校验机制,降低误操作风险。

4.4 设计与扩展性优化。工程布局智能化,基于系统树结构建模,根据电压等级和规模自动生成二次设备屏柜布局方案,设计效率提升50%。采用模块化预制舱技术,缩短施工周期并降低维护复杂度。环境友好型设计,融合雨水回收、精准送风等节能技术,减少能源浪费。采用工业美学设计,实现基础设施与城市环境的协调统一。

4.5 典型案例验证。“一键顺控”智能变电站通过集成14项新技术,实现全室内数字化运行,供电可靠性提升至99.99%。JOYO-A厂站综合自动化系统已在110kV以下变电站广泛应用,支持调度、集控与安防深度融合。这些方法体现了技术迭代与需求导向的结合,未来可进一步探索量子加密通信、数字孪生等技术在智能变电站

中的应用潜力。

5 智能变电站综合自动化技术未来发展趋势

5.1 技术深化与智能化升级。数字孪生与AI深度融合，通过构建变电站数字孪生模型，实时映射物理设备状态，结合AI算法实现设备健康度评估与故障预测，运维效率提升50%以上。深度学习技术将用于优化电网调度策略，支撑新能源消纳与负荷动态平衡。边缘计算与云边协同，在变电站本地部署边缘计算节点，实现数据实时处理与快速响应，降低对云端依赖，故障处理时间缩短至毫秒级。云平台统筹多站数据，支持跨区域电网协同优化，提升整体能源利用效率。新型感知与通信技术集成，推广光纤传感、声纹识别等非侵入式监测技术，实现设备绝缘劣化、局部放电等隐患的精准感知。探索量子加密通信技术，保障电力控制指令与敏感数据传输安全性。

5.2 设备与架构创新。高压设备高度集成化，采用模块化预制舱设计，集成开关柜、互感器、保护装置等核心设备，占地面积减少40%以上。推广一体化智能组件（如“保护+测控+通信”三合一装置），简化二次回路复杂度。全站无人化与自主运行，通过智能巡检机器人、无人机等替代人工巡检，结合“一键顺控”技术实现全流程自动化操作。构建自愈型电网框架，故障隔离与恢复供电时间从分钟级压缩至秒级。

5.3 绿色低碳与可持续发展。新能源友好型设计，开发适应光伏、风电波动特性的柔性控制技术，提升新能源并网容量与稳定性。引入储能系统协同控制策略，实现削峰填谷与紧急备用双重功能。节能环保技术规模化应用，推广无SF6环保气体绝缘设备，降低温室气体排放。采用精准送风、余热回收等节能技术，变电站综合能耗下降30%以上。

5.4 生态化与标准化演进。开放共享型平台建设，建

立统一数据模型与接口标准（如IEC 61850扩展协议），实现多厂商设备即插即用。构建电力数据交易平台，探索变电站数据资产化运营模式。国产化生态完善，加速自主可控芯片、操作系统在保护装置、通信网关等核心设备中的渗透，2025年关键设备国产化率将超90%。

5.5 规模化应用与市场拓展。城市地下变电站普及，在北上广深等超大城市，地下智能变电站占比将突破40%，解决土地资源紧张问题。定制化箱式变电站在工业园区、数据中心等领域实现快速部署。

智能变电站中综合自动化技术具有良好的应用价值，但其发展仍处于初期阶段，有待相关研究人员结合我国国情以及智能变电站运行的实际特点进行衡量和分析，进而加大力度来推进综合自动化技术的发展，维护智能变电站的稳定运行，从而为社会提供更加优质的电力服务，在满足社会节能、安全、低耗能需求的基础上，拉动国民经济的增长。

参考文献

- [1]张秀.变电站综合自动化系统常见故障分析及对策[J].技术与市场,2022,06:158-159.
- [2]梁琦.变电站自动化系统综合监管技术分析[J].电气技术,2022,05:140-142.
- [3]李艳.煤制烯烃项目变电站综合自动化系统应用[J].科技展望,2022,15:92.
- [4]刘旭.变电站综合自动化系统常见故障分析及对策[J].通讯世界,2022,24:169-170.
- [5]曹迎.浅谈变电站综合自动化系统防误操作模式[J].技术与市场,2022,12:157.
- [6]韩永.变电站综合自动化系统的集成[J].电网与清洁能源,2022,10:66-70.
- [7]杨春金.变电站综合自动化系统雪崩测试仪的研制[J].云南电业,2022,01:37-38.