

# 电气工程智能变电站设计与应用研究

凌 涛

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘 要：**随着电力系统向智能化、数字化转型，传统变电站在数据处理、协同控制、运维效率等方面的局限日益凸显，智能变电站成为解决电力系统发展需求的关键方向。本文围绕电气工程智能变电站设计与应用展开研究，系统剖析其关键技术。在此基础上，提出四大设计原则，细化电气主接线、设备选型与配置、智能化系统架构三大设计要点。结合实际应用场景，从新能源并网、电网调度运行、运维管理三方面，阐述智能变电站的具体应用方式与操作逻辑。研究表明，智能变电站通过技术集成与设计优化，可有效提升电力系统稳定性与运行效率，为电气工程领域智能变电站的推广与发展提供理论与实践参考。

**关键词：**电气工程；智能变电站设计；具体应用

**引言：**当前新能源大规模并网、电网调度复杂度提升、运维模式升级等现实需求，对智能变电站的技术体系与设计方案提出更高要求。但行业内对智能变电站关键技术的整合应用、设计原则的落地实施及应用场景的适配性仍需深入研究。基于此，本文聚焦电气工程智能变电站设计与应用，系统梳理关键技术，明确设计原则与要点，分析具体应用场景，旨在为智能变电站的工程实践提供科学指导，推动电力系统高质量发展。

## 1 电气工程智能变电站关键技术

### 1.1 智能化一次设备技术

智能化一次设备技术是智能变电站稳定运行的硬件基础，核心在于实现设备状态的实时感知、自主监测与智能调控。智能变压器作为核心设备，通过内置光纤传感器、油中溶解气体在线监测模块及局部放电监测单元，可实时采集绕组温度、绝缘状态、油质参数等关键数据，结合嵌入式芯片完成数据初步分析，实现故障预警与寿命评估，打破传统变压器依赖定期离线检测的局限。智能开关设备则集成了机械特性监测、操作机构状态诊断及灭弧室工况感知功能，借助电子式电流/电压传感器替代传统互感器，减少设备体积与损耗的同时，提升数据采集精度与响应速度，还能通过智能控制单元实现开关动作的精准调控，降低操作误差，保障开关设备运行的安全性与可靠性。

### 1.2 二次设备网络化技术

二次设备网络化技术重构了智能变电站的信号传输与控制架构，核心是构建分层、高效的网络通信体系。在网络架构层面，采用“站控层-间隔层-过程层”三层结构：站控层负责全站运行监控与调度指令下发，间隔层实现对应间隔设备的保护、测量与控制功能，过程层则

通过合并单元、智能终端完成模拟量与开关量的采集及控制指令执行，三层间通过以太网实现数据交互，替代传统二次回路的电缆连接，减少信号衰减与干扰。在通信协议与数据传输方面，采用IEC61850标准下的特定通信服务映射（SCSM），如制造报文规范（MMS）用于站控层与间隔层数据交互，采样值（SV）报文实现过程层模拟量传输，面向通用对象的变电站事件（GOOSE）完成开关量信号快速传输，同时通过网络冗余设计（如双网冗余、链路备份）与数据优先级划分，确保关键控制信号与保护指令的实时性、可靠性，避免网络拥堵或故障导致的系统响应延迟。

### 1.3 信息交互标准化技术

信息交互标准化技术是保障智能变电站设备互联互通、数据共享的核心支撑，关键在于统一信息模型与交互规范。基于IEC61850标准，通过面向对象的建模方法，将变压器、开关、保护装置等设备抽象为标准化的逻辑节点（LN），每个逻辑节点包含明确的数据集、数据属性及服务接口，实现不同厂家设备信息模型的统一，解决传统变电站因设备模型差异导致的“信息孤岛”问题。在信息交互实现上，采用标准化的通信协议栈与数据格式，确保设备间数据传输的语法与语义一致性，同时通过配置描述语言（SCL）完成全站设备的模型配置与网络参数设定，使新接入设备可通过标准化接口快速融入系统，无需大量定制化开发。此外，通过信息校验机制（如数据完整性校验、时序一致性检查）与冗余传输设计，进一步保障信息交互的准确性与稳定性，为智能变电站的协同控制与全局优化奠定基础<sup>[1]</sup>。

## 2 电气工程智能变电站设计原则

电气工程智能变电站设计要遵循以下原则，各原则

相互支撑,共同保障变电站功能与性能。(1)可靠性原则。通过合理的设备选型、冗余设计及故障预案,确保变电站在正常及极端工况下稳定运行,避免因设备故障或系统中断影响电力供应。(2)经济性原则。在满足功能需求的前提下,统筹考虑建设成本与全生命周期运维费用,优化设计方案以降低资源消耗,实现投入与效益的平衡。(3)先进性原则。融入前沿的智能化技术与标准化体系,如采用符合IEC61850标准的信息交互架构,提升变电站的数据处理、智能决策及远程调控能力,适配电力系统的发展趋势。(4)兼容性原则。设计时需兼顾与现有电力网络的衔接,确保不同厂家设备间的互联互通,同时预留扩展接口,为后续设备升级、功能拓展及新能源接入提供灵活空间,避免因兼容性问题限制变电站的长期使用价值<sup>[2]</sup>。

### 3 电气工程智能变电站设计要点

#### 3.1 电气主接线设计要点

电气主接线要兼顾可靠性、灵活性与经济性,其要点如下:(1)依据变电站电压等级、负荷性质及供电范围,确定主接线基本形式,优先采用单母线分段、双母线或一个半断路器接线等成熟架构,确保满足N-1或N-2故障准则。(2)合理设置分段开关与联络开关,优化故障隔离路径,缩短停电范围与恢复时间;同时需预留扩展接口,考虑未来新能源接入、负荷增长及电网升级需求,避免后期改造对运行的影响。(3)主接线设计需与二次系统协同,明确过程层合并单元、智能终端的接入方式,减少电缆用量与信号损耗,确保模拟量、开关量信号传输的实时性与可靠性,且需通过短路电流计算、动热稳定校验,验证主接线对故障电流的耐受能力。

#### 3.2 设备选型与配置要点

设备选型要以“适配性、智能化、经济性”为核心,其要点如下:(1)主变压器选型要结合负荷特性确定容量、损耗等级及调压方式,优先选用低损耗、智能化变压器,内置油中溶解气体、绕组温度等在线监测模块。(2)开关设备要选择具备机械特性在线监测、操作机构状态诊断功能的智能断路器,互感器优先采用电子式电流/电压互感器,减少铁芯损耗与占地面积,且需确保设备精度等级满足计量、保护及监控需求。(3)二次设备配置要遵循“分层分布式”原则,间隔层保护装置需具备冗余配置,站控层监控系统需支持IEC61850标准,实现与调度中心的数据交互;同时需合理配置网络设备,如交换机需具备高带宽、低时延特性,且采用双网冗余设计,保障数据传输稳定,设备选型还需考虑环境适应性,针对高温、高湿、高海拔等场景选择专用型号。

#### 3.3 智能化系统架构设计要点

智能化系统架构要围绕“数据贯通、协同控制”构建,要点如下:(1)过程层要优化合并单元与智能终端的布置,采用间隔层与过程层直接通信模式,减少中间环节,提升信号响应速度;同时需规范过程层网络拓扑,优先采用星型或环网结构,明确SV、GOOSE报文的VLAN划分,避免数据冲突。(2)站控层要构建统一的数据平台,整合设备监测、保护定值、运行日志等数据,支持数据建模与分析功能,为智能决策提供支撑;(3)设计完善的安防体系,包括网络安全防护(如防火墙、入侵检测)、物理安全防护(如门禁、视频监控)及数据安全防护(如加密传输、备份恢复),确保系统免受外部攻击与内部误操作影响。同时智能化系统需预留与运维管理平台的接口,支持远程监控、状态评估及智能巡检数据接入,实现全生命周期管理<sup>[3]</sup>。

### 4 电气工程中智能变电站的具体应用

#### 4.1 在新能源并网中的具体应用

智能变电站在新能源并网中,具体应用有:(1)构建适配新能源特性的接入架构。针对风电、光伏的间歇性与波动性,需在过程层优化模拟量采集方式,通过电子式互感器实时采集发电单元的电压、电流、功率等参数,采集频率提升至毫秒级,确保精准反映出力变化;同时在间隔层配置专用并网保护装置,该装置需具备低电压穿越、频率异常调节功能,可依实时电网参数调整发电输出,避免出力波动影响电网稳定。(2)搭建新能源并网数据交互通道,通过IEC61850标准通信网络,将发电单元运行数据、故障信息实时传输至站控层数据平台,再由站控层通过专用链路传至区域调度中心。站控层平台需具备实时分析发电数据的能力,识别出力波动规律,为调度中心制定发电计划提供依据;同时配置储能系统接口,出力过剩时将电能导入储能系统存储,不足时由储能系统补电,通过“新能源+储能”协同控制实现平稳并网。(3)在并网控制逻辑上,要在站控层设置并网控制模块,该模块接收调度中心发电指令,结合实时发电与电网数据生成控制指令,经过程层智能终端传至发电单元控制器,实现出力精准调控;同时具备故障隔离功能,当发电单元或并网线路故障时,快速切断故障回路,避免故障扩大,保障电网其他区域运行。

#### 4.2 在电网调度运行中的具体应用

智能变电站在电网调度中,核心是构建实时、精准的电网运行状态感知体系,具体应用如下:(1)通过站内关键节点的智能传感器,持续采集主变压器、断路器、母线等设备的温度、油位、绝缘状态、电流电压幅

值与相位等参数,这些参数经过程层合并单元汇总后,以标准化报文传至间隔层保护与测控装置,再上传至站控层数据平台。站控层平台对数据整合预处理,剔除无效数据与干扰信号,形成完整设备运行状态数据集。

(2)与区域调度中心建立双向通信链路,通过调度数据网将站内设备状态、电网潮流、故障信息实时上传,同时接收调度指令。为保障数据传输实时可靠,通信链路采用双链路冗余设计,一条故障时自动切换至备用链路;数据交互中采用加密技术,防止数据篡改或窃取,保障调度指令安全有效。(3)在调度指令执行层面,需具备快速响应与精准执行能力。接收到电压调节、功率分配、设备投退等指令后,站控层控制系统将指令解析为操作信号,经间隔层测控装置传至过程层智能终端,驱动设备执行操作。指令执行中,实时采集设备操作后参数,反馈至站控层与调度中心,形成“指令下发-执行-反馈”闭环控制,确保指令有效执行。(4)参与电网协同调度。通过站控层平台分析站内运行数据,识别母线负荷过载、设备温度异常升高等潜在风险,将预警信息上传调度中心,为风险防控提供支持;同时接收调度中心协同控制指令,与周边变电站、发电站联动调整电网状态,如负荷高峰期配合转移负荷,平衡潮流分布,保障电网整体稳定。

#### 4.3 在运维管理中的具体应用

智能变电站在运维管理中的应用如下:(1)实现设备状态监测与诊断自动化。在一次设备上集成专用状态监测传感器,如变压器油中溶解气体、断路器机械特性、母线绝缘在线监测传感器等,持续监测设备关键参数。传感器数据经数字化处理后,通过过程层通信网传至间隔层状态监测装置,装置实时分析数据,对比预设阈值与标准曲线,参数超限时自动生成异常预警,上传至站控层运维管理平台。(2)站控层运维平台具备深度分析设备状态数据的能力,采用趋势分析、故障树分析等方法评估设备运行状态,判断潜在故障、故障类型及严重程度,生成状态评估报告;同时依据评估结果制定个性化运维计划,状态良好设备适当延长运维周期,有

潜在故障设备提前安排检修,计划生成后自动分配至运维人员移动终端,明确任务、时间、地点及要求。(3)巡检管理采用“智能巡检机器人+人工巡检”融合模式。智能巡检机器人配备高清摄像头、红外热像仪、声音传感器,按预设路径自主巡检,采集设备外观图像、温度分布、运行声音等数据,实时传至运维平台。平台自动分析巡检数据,识别设备漏油、瓷瓶破损等外观缺陷及温度异常点,生成巡检报告;机器人无法覆盖区域或复杂问题由人工巡检,运维人员通过移动终端查看报告,重点检查异常区域,提升巡检效率与精准度。(4)故障处理中,具备故障快速定位与辅助决策能力。设备故障时,保护装置快速切除故障,并将故障时间、电流、位置标识等信息上传运维平台。平台结合状态监测与巡检数据综合分析,精准定位故障点,生成包含处理步骤、工具备件、安全注意事项的故障处理方案。运维人员依方案开展抢修,平台实时跟踪进度,记录过程与结果,形成故障处理档案,为后续类似故障提供参考<sup>[4]</sup>。

结束语:本文完成了对电气工程智能变电站设计与应用的系统性研究,梳理出智能化一次设备、二次设备网络化、信息交互标准化三大关键技术体系,确立了四大设计原则与三大设计要点,且结合新能源并网、电网调度、运维管理场景给出具体应用方案。研究成果可直接为智能变电站的设计与建设提供技术支撑,助力解决新能源并网波动、电网调度效率低、运维成本高等行业问题。

#### 参考文献

- [1]杨洋.电气工程智能变电站设计与应用研究[J].光源与照明,2025(2):207-209.
- [2]刘基银.电气工程中的智能控制系统设计与应用研究[J].消费电子,2025(8):74-76.
- [3]曹秋林.电气工程中的智能控制系统设计与应用研究[J].时代汽车,2024(6):138-140.
- [4]杨洋.电气工程智能变电站设计与应用研究[J].光源与照明,2025(2):207-209.