

变电站辅控设备无线接入与集中监控技术

吕鹏飞 王 娇

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘 要:针对变电站辅控设备接入难、监控分散的问题,本文提出一种无线接入与集中监控方案。通过构建分层架构,采用混合组网与协议转换技术,解决强电磁环境下多设备接入难题。配套设计集中监控平台,实现数据统一采集、异常告警与联动控制。该方案有效打破数据孤岛,提升变电站智能化运维水平与供电可靠性。

关键词:变电站辅控设备;无线通信;设备接入;集中监控

引言:随着智能电网建设推进,变电站辅控设备种类日益增多,传统有线接入方式面临布线复杂、维护困难等挑战。本文分析变电站辅控设备监测需求与无线通信环境约束,提出一套完整的无线接入与集中监控技术方案,旨在实现辅控系统的全面感知与智能管控,为变电站无人值守提供技术支撑。

1 变电站辅控设备接入现状与无线通信适配分析

1.1 变电站辅控设备类型与监测需求

变电站辅控设备是保障主设备安全稳定运行、站内环境可控的配套核心装置,品类覆盖环境监测、安防、消防、动力辅助等多个领域,具体包含温湿度传感器、烟感温感探测器、水浸监测装置、视频监控摄像头、门禁设备、风机水泵、空调除湿装置及智能照明设备等。各类辅控设备功能定位不同,运行监测需求存在明显差异,环境类设备需实时采集温度、湿度、积水、气体浓度等稳态数据,采样频次适中、数据量较小;安防视频设备需持续传输高清视频流,数据传输带宽需求高、实时性要求强;动力控制类设备需接收远程指令、回传运行状态,对通信可靠性、指令响应时效性要求极高^[1]。现阶段变电站运维对辅控系统的需求已从传统单一数据采集,转变为全域感知、实时监测、异常预警、联动调控的一体化需求,要求各类设备数据统一汇聚、状态实时可视,为变电站无人值守、智能运维体系搭建提供基础数据支撑。

1.2 变电站环境对无线通信的约束条件

变电站特殊的运行场景与设备环境,对无线通信传输形成多重刚性约束,大幅提升了无线接入的技术落地难度。一是强电磁干扰约束,变电站内变压器、断路器、高压母线等一次设备运行时会产生高强度电磁场、电弧干扰与谐波辐射,会破坏无线信号传输稳定性,易

造成信号衰减、丢包、延迟、失真等问题,影响数据传输质量。二是空间环境约束,变电站主控室、高压室、设备区存在大量金属柜体、墙体、电力设备,会对无线信号产生遮挡、反射与折射,形成信号盲区与多径效应,降低通信覆盖均匀性。三是安全规范约束,变电站属于电力高危作业区域,无线设备需满足防爆、防尘、防潮、抗振动的工业级标准,且无线频段、发射功率需符合电力行业规范,禁止干扰电力专用通信频段。同时,变电站运维对通信可靠性、安全性要求极高,需杜绝无线信号串频、数据泄露、外部入侵等风险,保障通信系统稳定可控。

2 辅控设备无线接入整体方案设计

2.1 无线接入分层架构

本次设计的变电站辅控设备无线接入系统采用分层化、模块化架构,自上而下分为监控平台层、网络传输层、终端感知层三层结构,层级划分清晰、功能定位明确,可实现全域设备数据高效采集与传输。终端感知层为底层核心层级,涵盖站内所有类型辅控监测终端与控制设备,负责现场环境、设备状态、安防信息的原始数据采集,并完成数据预处理与初步封装。网络传输层为中间枢纽层级,包含无线网关、通信基站、传输链路等核心设备,承接底层终端数据汇聚、协议解析、数据转发工作,同时接收上层平台调控指令并下发至对应终端,保障数据双向传输通畅。监控平台层为顶层管理层级,负责所有无线接入设备的数据存储、状态监测、数据分析、告警推送与联动控制。分层架构有效实现数据纵向贯通、功能分区独立,便于后期设备扩容、系统升级与故障定位,大幅提升无线接入系统的通用性与可维护性。

2.2 无线终端、网关硬件部署方案

结合变电站场地布局、设备分布及电磁环境特点,制定针对性的无线终端与网关硬件部署方案。无线终端部署遵循全覆盖、无盲区、低干扰原则,将温湿度、水浸、烟感等小型感知终端就近布设在设备柜体、电缆沟、高压室、主控室等关键监测点位,视频、门禁、动力控制终端部署在对应作业区域,所有终端选用工业级防水、防尘、抗电磁型号,适配变电站恶劣环境。无线网关采用分区部署模式,按照变电站设备区域划分多个通信单元,每个区域部署一台工业级无线网关,负责本区域内所有终端设备的信号接入与数据汇聚,网关优先安装在通风干燥、信号无遮挡、远离高压设备的位置,减少电磁干扰与信号损耗^[2]。同时配置冗余网关设备,避免单网关故障导致区域通信中断,所有硬件设备均采用壁挂式固定安装,配套专用电力供电模块,保障硬件长期稳定运行,满足7×24小时不间断工作需求。

2.3 多类型辅控设备无线适配改造方法

针对变电站辅控设备型号繁杂、通信协议不统一、新旧设备混用的现状,制定差异化无线适配改造方法,实现全品类设备无线接入。对于自带无线通信模块的新型智能辅控设备,无需硬件改造,仅通过协议配置、频段匹配、地址绑定的方式,完成设备与无线网关的通信对接,简化改造流程。对于仅支持有线通信的传统监测设备,采用外置无线适配模块的改造方式,通过RS485、以太网等接口与设备对接,实现有线数据向无线数据的转换,保留设备原有功能与监测精度。对于老旧老旧低效、接口老化的辅控设备,采用整机替换改造模式,更换为集成标准化无线通信接口的新型工业级设备,从根源解决适配难题。改造过程中严格遵循电力施工规范,全程带电作业或错峰施工,避免影响变电站正常运行,改造后逐一完成设备调试、通信测试与数据校验,保障改造后设备运行稳定、数据传输精准。

2.4 无线通信网络拓扑规划

结合变电站场地规模、设备分布密度及无线传输需求,采用星型拓扑结合网状拓扑的混合网络拓扑结构,完成无线通信网络整体规划。网络以核心无线主网关为中心节点,各区域分网关为二级节点,各类辅控无线终端为末端节点,形成层级清晰的星型主干网络,保障主干数据传输高效、延时稳定。针对设备密集、信号易遮挡的高压设备区、电缆夹层等区域,增设无线中继节点,搭建局部网状拓扑,实现信号互补覆盖,消除通信盲区,提升网络抗故障能力。拓扑规划过程中合理规划无线频段,规避电力专用干扰频段,相邻通信节点采用信道错开布置,避免信号串扰与频谱拥堵。同时优化网

络链路冗余设计,关键节点配置双链路备份,当主链路故障时可自动切换至备用链路,保障通信不中断。整体拓扑结构具备组网灵活、扩展性强、稳定性高的特点,可适配后续新增辅控设备的无线接入扩容需求。

3 无线接入配套关键技术

3.1 多协议无线数据统一转换技术

变电站现有辅控设备通信协议繁杂,涵盖Modbus、MQTT、HTTP、SNMP等多种制式,新旧设备协议兼容性差、数据格式不统一,极易造成数据孤岛,为此引入多协议无线数据统一转换技术。该技术核心是搭建标准化协议转换适配模块,可自动识别各类终端设备的通信协议类型,完成不同协议数据的解析、解码、格式规整与统一封装。模块支持主流电力设备通信协议的兼容适配,可将碎片化、非标化的终端数据,统一转换为平台可识别的标准化数据格式,实现多品类设备数据同源汇聚。同时技术内置数据纠错、格式校验、冗余数据过滤功能,可剔除异常数据、重复数据,保障上传数据精准有效^[3]。该技术彻底解决了多类型辅控设备协议不互通、数据不兼容的痛点,简化数据传输流程,降低平台数据处理压力,为集中监控平台全域数据整合、统一分析提供核心技术支持。

3.2 变电站强电磁环境无线抗干扰技术

针对变电站强电磁干扰导致的无线信号衰减、丢包、延迟等问题,采用专用无线抗干扰技术保障通信稳定性。首先采用跳频通信技术,让无线设备在预设优质频段内动态切换通信频率,有效规避固定频段的持续电磁干扰,提升信号抗干扰能力。其次引入信号滤波与降噪技术,通过硬件滤波模块与软件算法双重处理,过滤电磁辐射产生的杂波信号,保留有效通信信号,优化信号传输质量。同时采用功率自适应调节技术,无线网关与终端可根据现场电磁环境强度,自动调节发射功率,环境干扰较强时提升功率保障信号穿透性,干扰较弱时降低功率减少能耗与信号串扰。此外,通过空间分集接收技术,利用多天线接收信号并择优整合,抵消多径效应与遮挡带来的信号损耗,全方位适配变电站强电磁运行环境,保障无线通信长期稳定、低延时、低丢包运行。

3.3 无线数据加密与网络安全防护技术

变电站无线通信网络属于电力生产专用网络,数据传输涉及设备运行状态、安防监测、调控指令等核心信息,需依托完善的安全防护技术规避网络风险。数据传输环节采用AES高级加密算法对所有上行监测数据、

下行控制指令进行全程加密,杜绝数据传输过程中被窃取、篡改、监听的风险,同时配置数据校验机制,确保加密数据传输完整有效。网络防护层面部署无线接入认证机制,采用设备唯一 MAC 地址绑定、密钥双向认证模式,禁止非法设备接入网络,从源头规避入侵风险。同时搭建网络安全监测模块,实时监控网络流量、设备接入状态、数据传输异常,可及时识别端口扫描、恶意攻击、数据异常泄露等风险并自动拦截。此外定期更新加密密钥、升级防护策略,修补网络安全漏洞,构建数据加密、接入防护、实时监控、风险处置的全维度安全防护体系。

4 变电站辅控集中监控平台设计

4.1 集中监控平台总体架构

变电站辅控集中监控平台采用 B/S 架构与微服务架构相结合的设计模式,整体分为数据采集层、数据处理层、存储层、功能应用层、展示交互层五大核心层级,架构轻量化、模块化、可扩展性强。数据采集层对接全站无线接入辅控设备,实时抓取各类监测数据、设备状态数据与告警信息;数据处理层依托多协议转换、数据清洗、算法分析技术,完成原始数据的标准化处理、异常甄别、统计分析;存储层采用分布式存储架构,分类存储实时数据、历史数据、告警数据与设备台账数据;功能应用层集成设备管理、数据监测、异常告警、联动控制、报表统计等核心业务功能;展示交互层通过可视化界面实现数据展示、人机交互、远程操作。平台整体架构实现数据全流程闭环处理,各模块独立运行、互不干扰,支持功能迭代与设备扩容,可满足变电站智能化、无人值守的集中监控运维需求。

4.2 平台核心功能模块设计

为精准契合变电站辅控运维的严苛管控需求,本平台精心规划了六大核心功能模块,全面覆盖设备管控、数据监测与运维管理的全业务场景。其中,设备状态管理模块不仅负责所有无线接入辅控设备的台账录入与在线状态实时监控,还能进行灵活的参数配置与远程启停控制,真正实现设备全生命周期的精细化闭环管理。实时数据监测模块可高频刷新并直观展示站内环境、安防及动力设备的各项运行参数,支持单点数据的精准追溯与查询。异常告警管理模块能够全天候甄别设备故障、数据超限及环境异常等隐患,并依据严重程度分级分类推送告警信息。联动控制模块则可根据预设的异常触发条件,自动指挥对应设备执行调控操作,大幅提升

应急响应效率^[4]。另外,数据报表统计模块可自动生成日、月、季度等多维度运维报表,支持便捷导出与历史溯源;系统运维模块则统筹平台权限分配、操作日志记录、底层参数配置及故障排查,全方位保障平台安全稳定运行。这六大模块协同发力,将全面提升变电站辅控系统的智能化管控水平。

4.3 辅控设备异常告警与联动控制逻辑

平台依托预设电力运维标准阈值与智能算法,搭建精准的辅控设备异常告警与联动控制逻辑。系统实时比对采集数据与标准阈值,一旦监测到温湿度超标、水浸入侵、设备离线、消防异常、门禁非法开启等问题,立即触发分级告警机制,通过平台弹窗、短信、移动端推送等方式告知运维人员,同时标注异常位置、异常类型、异常等级,便于快速处置。联动控制逻辑采用“异常触发-自动响应-状态回传”闭环模式,例如监测到站内湿度过高时,自动联动除湿机、风机启动;检测到电缆沟积水时,自动启动排水泵;出现非法门禁开启时,联动摄像头抓拍录像。异常处置完成后,设备状态数据实时回传平台,自动终止告警并记录处置过程,实现辅控设备异常自主预警、自动调控、全程溯源,大幅提升变电站运维自动化、智能化水平。

结束语

本文设计的变电站辅控设备无线接入与集中监控方案,有效解决了强电磁环境下多协议设备接入与数据传输难题。通过分层架构与智能平台协同,实现了辅控系统的统一管理与联动控制,显著提升了运维效率与安全性,为智能变电站建设提供了可靠的技术路径与实践参考。

参考文献

- [1] 梁辰,魏加贵,孙建文,等.变电站辅控设备无线接入与集中监控技术[J].山东电力高等专科学校学报,2025,28(5):24-28.
- [2] 牛晓琳,周英豪.基于变电站辅助设备监控系统的无线通信终端设计与实现[J].通信电源技术,2024,41(15):13-15.
- [3] 林鹏,廖华,蔡富裕,等.基于无线混合网络的变电站辅助设备智能监控系统的设计[J].电子制作,2021(8):70-72.
- [4] 秦红霞,李明节,王申强,等.主子站多级协同的变电站主辅设备监控系统研发与应用[J].电网技术,2026,50(3):1372-1381,后插1-后插3.