

电网变电运行自动化控制技术研究

姚秀秀¹ 张 涛² 何天伟²

1. 国网甘肃省电力公司永靖县供电公司 甘肃 永靖 731600

2. 国网甘肃省电力公司刘家峡水电厂 甘肃 永靖 731600

摘 要: 本文围绕电网变电运行自动化控制技术展开研究, 阐述其基础理论、系统构成及关键技术, 分析该技术在高、中低压及无人值守变电站的应用实践与效果, 剖析当前应用中存在的设备兼容性、系统稳定性、运维能力及网络安全等问题, 结合问题成因提出针对性优化策略, 并展望其与人工智能、数字孪生融合及全数字化转型的发展趋势, 为提升电网变电运行效率、可靠性, 推动电网智能化升级提供理论与实践参考。

关键词: 电网; 变电运行; 自动化控制技术

引言: 随着电网智能化建设加速, 变电运行作为电网核心环节, 其高效、安全运行直接决定供电可靠性。传统人工控制模式存在效率低、误差大、响应滞后等弊端, 已无法适配新型电力系统发展需求。变电运行自动化控制技术依托计算机、通信、传感等技术, 实现设备监测、控制、故障处理的自动化, 成为破解运维难题、提升电网管控水平的关键。基于此, 本文聚焦该技术的理论、应用与发展, 为其优化应用提供支撑。

1 电网变电运行自动化控制技术基础理论

1.1 变电运行自动化控制核心概念

(1) 变电运行自动化的定义与内涵: 指借助各类技术手段, 实现变电设备运行状态监测、操作控制、数据处理的自动化, 无需人工全程干预, 核心是实现变电运行的高效、精准、安全管控, 是电网智能化的核心组成部分。(2) 自动化控制的核心目标: 保障变电设备稳定运行, 提升供电可靠性; 减少人工操作误差, 降低运维成本; 实现故障快速响应, 缩短停电时间, 满足电网安全经济运行需求。(3) 变电运行自动化与传统人工控制的差异: 自动化控制效率高、响应快, 可24小时不间断运行, 而人工控制易受疲劳影响; 自动化控制数据精准, 可实现实时监测, 人工控制数据滞后且误差较大^[1]。

1.2 变电运行自动化控制的核心原理

(1) 数据采集与传输原理: 通过传感设备采集变电设备的电压、电流等参数, 经通信模块将数据传输至控制中心, 实现数据实时共享。(2) 自动控制与调节原理: 控制中心根据采集的数据, 对照预设标准, 自动发出指令调节设备运行状态, 维持系统参数稳定。(3) 故障检测与预警原理: 通过数据分析对比, 识别设备异常信号, 及时发出预警, 为故障排查和处理争取时间。

1.3 电网变电运行自动化控制的核心技术支撑

(1) 计算机技术支撑: 提供数据处理、指令运算和系统管控功能, 是自动化控制的核心中枢。(2) 通信技术支撑: 保障数据在设备与控制中心间高效、稳定传输, 分为有线和无线两种传输方式。(3) 传感测量技术支撑: 实现变电设备运行参数的精准采集, 为自动化控制提供可靠数据支撑。(4) 智能算法技术支撑: 通过算法分析处理海量数据, 实现故障识别、状态预测, 提升自动化控制的智能化水平。

2 电网变电运行自动化控制系统的构成与关键技术

2.1 变电运行自动化控制系统的整体架构

(1) 站控层架构及功能: 作为系统核心中枢, 由监控主机、操作员工作站、数据服务器等组成, 采用集中式或分布式架构, 主要实现全站设备运行状态的集中监控、操作指令下发、数据汇总分析及故障告警, 同时对接上级调度中心, 完成数据上传与指令接收, 是整个自动化系统的“大脑”。(2) 间隔层架构及功能: 位于站控层与过程层之间, 按设备间隔划分, 包含各类保护装置、测控装置, 核心功能是实现单个间隔设备的实时监测、保护逻辑执行和本地控制, 可独立完成间隔内设备的故障切除与状态调节, 同时将间隔数据上传至站控层, 起到承上启下的作用^[2]。(3) 过程层架构及功能: 直接对接变电一次设备, 由合并单元、智能终端、传感器等组成, 核心功能是完成设备运行参数采集、开关量状态检测, 将模拟量、开关量数据转换为数字信号, 传输至间隔层, 同时执行间隔层下发的控制指令, 实现对一次设备的精准操控, 是系统的数据采集与执行终端。

2.2 核心自动化控制设备及技术

(1) 微机保护装置及应用技术: 以微处理器为核心, 集成保护、测控、通信功能, 可针对变压器、断路器等设备实现过流、过压、接地等故障的精准识别与快

速跳闸,具备自检、定值整定、故障录波功能,应用中通过与间隔层、站控层联动,提升设备保护的可靠性与及时性。(2)智能监控装置及应用技术:包含视频监控、环境监测、设备状态监测等装置,可实时采集设备外观状态、机房温湿度、SF₆气体压力等信息,通过图像识别、数据对比实现异常预警,支持远程可视化监控,减少人工巡检工作量,保障设备安全运行。(3)远动通信装置及协议应用:负责系统与上级调度、其他变电站的数据通信,采用IEC61850标准协议,实现数据统一规范传输,具备数据加密、断点续传功能,确保远动数据的实时性、准确性,支撑电网调度的协同管控。

2.3 自动化控制中的数据处理与交互技术

(1)数据采集与预处理技术:通过过程层传感器、合并单元采集各类原始数据,采用滤波、降噪、校准等方法,剔除异常数据,标准化数据格式,确保数据的真实性和可用性,为后续数据处理和控制决策提供可靠支撑。(2)数据存储与共享技术:采用本地服务器与云端存储结合的方式,存储设备运行数据、故障记录、操作日志等,通过数据接口实现站控层、间隔层、过程层及上级调度的数据共享,打破数据壁垒,提升系统协同效率^[3]。(3)跨层级数据交互与协同控制技术:建立站控层、间隔层、过程层的联动机制,实现数据双向交互,确保控制指令精准下发、运行状态实时反馈,同时协调各间隔、各设备的运行,实现全站自动化系统的协同运作。

2.4 关键辅助控制技术

(1)“一键顺控”操作技术:预设标准化操作流程,通过一键触发,自动完成断路器、隔离开关等设备的顺序操作,避免人工操作失误,缩短操作时间,提升操作规范性和效率,适用于倒闸操作等高频场景。(2)智能硬压板遥控技术:通过自动化系统远程控制硬压板的投退,替代人工现场操作,具备操作记录、权限管控功能,防止误投退压板,保障保护装置的正确运行,提升运维便捷性。(3)时间同步与防误闭锁技术:采用GPS/北斗时间同步装置,确保全站设备时间统一,为故障分析、操作追溯提供时间依据;防误闭锁技术通过逻辑判断,禁止违规操作,避免设备误动、人身安全事故,保障系统运行安全。

3 电网变电运行自动化控制技术的应用实践与存在问题

3.1 自动化控制技术的实际应用场景

(1)高压变电站自动化应用实例:在220kV及以上高压变电站,采用自动化控制系统实现主变压器、断路器

等核心设备的实时监测与智能控制,通过故障自动检测与快速切除功能,减少大面积停电风险,保障电网主干网稳定运行。(2)中低压变电站自动化改造应用实例:对老旧中低压变电站进行自动化改造,加装智能监控、远动通信等装置,替代传统人工操作,实现电压调节、负荷监测的自动化,提升配网供电质量,适配城乡用电增长需求。(3)无人值守变电站自动化应用实例:依托站控层远程管控与过程层智能执行,实现变电站24小时无人值守,通过视频监控、远程操作、故障自动预警,降低人工运维压力,广泛应用于偏远地区及城市郊区变电站。

3.2 自动化控制技术应用效果分析

(1)运行效率提升效果:自动化控制替代人工巡检、操作,将设备操作时间缩短60%以上,实现数据实时采集与分析,大幅减少人工失误,提升变电运行整体效率。(2)供电可靠性改善效果:故障检测与预警响应时间缩短至秒级,故障切除更及时,有效降低停电时长与停电范围,供电可靠率提升至99.98%以上。(3)运维成本控制效果:减少人工巡检人员配置,降低人工成本,同时通过设备状态精准监测,减少盲目检修,降低设备运维与损耗成本,平均运维成本下降30%左右。

3.3 当前应用中存在的主要问题

(1)设备兼容性与互操作性问题:不同厂家设备规格、通信协议不统一,导致站控层、间隔层设备无法高效联动,数据传输存在卡顿、丢失现象。(2)系统稳定性与抗干扰问题:变电站电磁环境复杂,易对自动化系统产生干扰,导致系统出现误报警、指令执行延迟等问题,影响运行稳定性。(3)技术运维与人员专业能力问题:运维人员对自动化设备、智能算法的掌握不足,难以快速排查系统故障,无法充分发挥自动化技术的核心优势。(4)网络安全防护存在的短板:自动化系统联网后,易遭受网络攻击,部分变电站缺乏完善的安全防护体系,存在数据泄露、设备误动的安全隐患^[4]。

3.4 问题产生的原因分析

(1)技术标准与规范层面原因:部分领域自动化技术标准不统一,缺乏统一的设备接口、通信协议规范,导致设备兼容性不足,系统协同难度大。(2)设备研发与选型层面原因:部分厂家设备研发缺乏统一标准,核心技术不成熟,同时部分变电站选型时未充分结合现场实际,导致设备适配性差。(3)运维管理与人员培养层面原因:运维管理制度不完善,缺乏常态化培训机制,导致运维人员专业能力跟不上自动化技术的更新速度,运维水平不足。

4 电网变电运行自动化控制技术的优化策略与发展趋势

4.1 针对现存问题的优化改进策略

(1) 设备兼容性优化策略: 统一设备通信协议与接口标准, 推广IEC61850等通用协议, 规范设备研发与选型流程, 优先选用兼容性能强的设备, 对现有不兼容设备进行升级改造, 搭建统一的数据交互平台, 实现不同厂家、不同层级设备的高效联动。(2) 系统稳定性与抗干扰提升策略: 优化系统硬件布局, 选用抗电磁干扰性能强的设备, 对信号传输线路进行屏蔽处理; 完善系统冗余设计, 增设备用设备与传输通道, 避免单点故障影响系统运行, 定期对系统进行调试维护, 及时排查干扰隐患。(3) 运维体系与人员专业能力提升策略: 建立完善的运维管理制度, 明确运维职责与流程; 搭建常态化培训体系, 开展自动化设备、智能算法等专项培训, 提升运维人员的实操能力与应急处置能力, 鼓励人员参与技术研发与创新实践^[5]。(4) 网络安全防护强化策略: 构建多层次网络安全防护体系, 部署防火墙、入侵检测系统, 加强数据加密与访问权限管控; 定期开展网络安全隐患排查与应急演练, 及时修补系统漏洞, 规范网络接入管理, 防范网络攻击风险。

4.2 自动化控制技术的创新发展方向

(1) 人工智能与自动化控制的深度融合: 将AI算法应用于故障诊断、状态预测, 实现设备异常的精准识别与提前预警, 优化控制策略, 实现变电运行的自适应、自调节, 提升系统智能化水平。(2) 数字孪生技术在变电自动化中的应用: 构建变电站数字孪生模型, 实现设备运行状态的虚拟仿真与实时映射, 可开展模拟操作、故障演练, 为运维决策提供精准支撑, 降低运维成本与风险。(3) 边缘计算与云边协同架构的应用拓展: 将部分数据处理任务下沉至边缘节点, 减少云端传输压力, 提升数据处理与指令执行的实时性, 通过云边协同实现全站数据的集中管理与分布式控制, 优化系统响应效率。

4.3 行业发展趋势展望

(1) 全数字化、智能化转型趋势: 变电站将实现从设备到控制的全流程数字化, 结合AI、大数据技术, 实现运行状态自感知、故障自诊断、操作自执行, 全面提升变电运行智能化水平。(2) 与新型电力系统源网荷储互动的融合趋势: 自动化控制技术将深度适配新型电力系统, 实现与新能源发电、储能、负荷的协同联动, 优化电网调度, 提升电网消纳能力与运行稳定性。(3) 标准化、模块化发展趋势: 设备研发与系统建设将遵循统一标准, 推行模块化设计, 实现设备的快速替换与系统的灵活扩容, 降低建设与运维成本, 推动变电自动化技术规模化应用。

结束语

电网变电运行自动化控制技术是电网智能化转型的核心支撑, 其应用有效提升了变电运行效率、降低了运维成本、保障了供电安全。本文系统梳理了该技术的核心内容、应用现状与现存问题, 提出的优化策略具有较强的实操性, 展望的发展方向贴合行业需求。未来, 需持续推动技术创新与标准统一, 强化运维能力建设, 破解应用瓶颈, 助力新型电力系统高质量发展, 实现变电运行全流程智能化、高效化管控。

参考文献

- [1]王理强.变电站电力系统的自动化智能控制技术研究[J].电气技术与经济.2024,9(5):102-104.
- [2]周焕宜.电网变电运行设备的自动化控制技术应用[J].集成电路应用.2023,40(11):78-82.
- [3]任品绩.电力系统变电运行设备维护技术研究[J].中国设备工程.2023,32(20):175-179.
- [4]杨明川.电气试验自动化控制技术的应用研究[J].设备管理与维修.2022,7(14):53-55.
- [5]王若松,曾艳.电网变电运行设备自动化控制技术研究[J].自动化应用.2022,10(9):80-83.