

变电站电力系统自动化控制策略研究

高尚 钟震男 李高朋 代亚杰 范磊
河南豫达电力集团有限公司 河南 平顶山 467000

摘要: 本文围绕变电站电力系统自动化控制展开研究,先阐述自动化系统核心理论、关键技术与控制原理,梳理当前系统运行、技术应用、运维管理三大层面的现存问题,针对设备协同不足、故障处理滞后、新旧设备不兼容等短板,提出运行控制优化、技术升级、运维体系完善等针对性策略,同时配套保障措施。研究旨在提升变电站管控效率与供电可靠性,助力电网智能化、安全化运行,推动电力系统自动化建设提质增效。

关键词: 变电站;电力系统;自动化控制策略

引言: 随着智能电网建设提速,变电站作为电网枢纽,其自动化控制水平直接关乎供电稳定性与电网运行效率。传统人工值守模式弊端凸显,自动化控制已成为变电站发展的核心方向。当前变电站自动化系统仍存在诸多短板,制约电网高质量发展。基于此,本文深入剖析自动化控制现存问题,结合前沿技术与行业需求,探究科学可行的优化策略,补齐运行短板,提升系统管控能力,为变电站安全高效运行提供理论与实践支撑。

1 变电站电力系统自动化控制相关理论基础

1.1 变电站自动化系统概述

(1) 变电站自动化系统定义与核心内涵。变电站自动化系统是融合计算机、通信、电子控制技术的集成系统,以全站设备为管控对象,替代传统人工值守模式,实现电力运行数据采集、设备状态监控、故障处理、远程操控等功能,核心是打通站内各设备信息壁垒,提升运行管控效率与供电可靠性。(2) 系统发展历程与技术迭代。该系统历经了集中式自动化、分层分布式自动化、全数字化自动化三个阶段。早期集中式系统管控效率低、故障影响大;后续分层分布式系统实现功能分区,稳定性提升;如今依托数字化、网络化技术,系统朝着智能化、标准化方向升级,运维模式大幅优化。(3) 系统核心功能定位。系统核心是保障变电站安全、稳定、高效运行,兼具实时监控、故障保护、远程控制、数据统计、异常告警等功能,既能减轻人工工作量,又能快速响应电网故障,缩小停电范围,维持电网供电平稳。

1.2 自动化控制核心技术

(1) 微机保护与测控技术。以微型计算机为核心,对变压器、线路等设备运行参数实时监测,能精准识别短路、过载等故障,快速发出跳闸指令,实现故障隔离,兼具保护、测量、控制一体化功能,灵敏度和可靠性远超传统继电保护。(2) 通信网络技术。IEC61850是变电站

通信国际标准,统一了设备通信协议,打破设备互通壁垒,实现站内设备、站端与调度中心的数据高速传输,支持数字化信息交互,为系统智能化运行奠定通信基础。(3) 数据采集与监控技术。通过各类传感器、采集装置,实时收集电压、电流、功率等运行数据,上传至管控平台,实现数据可视化监控,同时支持远程操控设备,实时把控全站运行状态,及时排查隐患^[1]。

1.3 电力系统自动化控制原理

(1) 闭环控制与开环控制原理。开环控制无反馈环节,指令执行后不校验结果,结构简单;闭环控制带有反馈回路,实时采集运行结果,对比预设参数并调整指令,管控精度更高,能自动修正偏差,是变电站自动化的主要控制方式。(2) 智能控制基础理论。融合模糊控制、神经网络、专家系统等理论,适配电网复杂多变的运行环境,能自主判断运行工况、处理突发故障,实现自适应调控,提升系统智能化水平。(3) 电网稳定运行控制准则。以保障电网电压、频率稳定为核心,遵循安全优先、快速响应、故障隔离等准则,通过自动化调控维持功率平衡,防止电网失稳、瘫痪,保障供电连续性与安全性。

2 变电站电力系统自动化控制现存问题分析

2.1 系统运行控制问题

(1) 设备协同控制协调性不足。现阶段变电站自动化系统内部设备种类繁多,各类装置的控制指令、运行节奏难以统一,跨设备、跨间隔协同控制效果不佳。部分设备运行逻辑独立,缺乏统一的调度管控机制,出现指令冲突、动作滞后等情况,无法实现全站设备联动运行,降低了整体控制效率,难以适配电网复杂的运行调控需求。(2) 故障响应与处理效率偏低。电网故障发生时,自动化系统故障判别、定位、隔离流程耗时较长,故障排查依赖人工辅助判定,全自动处理能力薄弱。系

统对隐性故障、复合型故障识别精度不足,容易出现误判、漏判情况,故障信号传输滞后,无法第一时间切断故障源,导致故障影响范围扩大,延长停电时长,影响供电稳定性。(3)运行状态监控盲区问题。现有监控系统覆盖范围有限,部分偏远设备、老旧线路、二次回路的运行参数无法实时采集,形成监控盲区。监控数据多集中在常规电气参数,对设备绝缘性能、老化程度、机械损耗等隐性状态监测不足,无法提前预判设备故障隐患,往往等到设备故障停机后才能发现,被动运维难以保障系统平稳运行。

2.2 技术应用层面短板

(1)老旧设备与新型系统兼容性差。不少变电站仍在使用早期继电保护、测控装置,硬件设施老化,通信协议、接口标准与新一代自动化系统不匹配。新旧设备数据互通受阻,升级改造时无法直接兼容对接,要么更换全套设备增加成本,要么保留老旧设备制约系统性能,难以发挥新型自动化系统的全部功能。(2)智能算法应用深度不足。智能控制算法多停留在基础应用层面,仅实现简单的数据监测、指令下发功能,在故障预判、负荷调度、状态评估等场景应用浅薄。系统缺乏自主学习、自适应调控能力,无法依托大数据分析电网运行规律,面对复杂工况、突发状况只能执行固定程序,智能化水平偏低^[2]。(3)通信网络稳定性与安全性隐患。变电站通信网络易受电磁干扰、环境因素影响,出现数据丢包、传输中断等问题,影响信号传递。同时,网络防护措施薄弱,缺乏完善的加密机制和防火墙技术,容易遭受网络攻击、恶意入侵,一旦通信系统被攻破,会引发数据泄露、操控失灵等严重问题,威胁电网运行安全。

2.3 运维管理与控制缺陷

(1)自动化运维体系不完善。运维工作仍以传统人工巡检、事后维修为主,全周期自动化运维机制不健全,设备状态检测、定期养护、故障修复流程不规范。缺乏精细化运维管理平台,运维数据记录零散,无法实现设备全生命周期追踪,运维效率低下,设备故障率居高不下。(2)人员专业技能匹配度不足。自动化系统融合计算机、通信、电力电子多项技术,对运维人员技能要求较高。现有工作人员多擅长传统电力运维,对智能系统操作、软件调试、网络故障处理技能掌握不足,难以应对复杂的自动化控制故障,制约了系统功能的落地使用。(3)应急控制预案落地性不强。应急控制预案多为理论框架,内容笼统,缺乏针对性、实操性的处置步骤,针对各类突发故障的专项预案缺失。预案演练流于形式,没有结合现场实际工况开展演练,突发状况下,工作人员无法快速

遵照预案执行操作,应急处置效果大打折扣。

4 变电站电力系统自动化控制优化策略

4.1 系统运行控制优化策略

(1)构建全域协同控制体系。打破站内各设备独立运行的壁垒,搭建统一的集中管控平台,整合全站测控、保护、监控设备,制定标准化的控制指令流程,实现全站设备联动调控、协同作业。建立跨间隔、跨区域的协同控制机制,统一设备运行逻辑,消除指令冲突、动作滞后等问题,适配电网复杂负荷调控、倒闸操作等需求,提升整体运行管控效率,实现自动化系统的全域化、一体化管控。(2)提升故障快速诊断与隔离能力。优化故障判别算法,升级故障检测模块,提升系统对短路、过载、绝缘损坏等各类故障的识别精度,尤其强化对隐性故障、复合型故障的精准判定能力。搭建故障速断处置通道,实现故障信号实时上传、精准定位、自动隔离的全流程自动化处置,缩减故障排查与处理时长。配套故障溯源分析功能,记录故障数据,复盘故障原因,从源头降低故障复发概率,缩小停电范围,保障供电连续性^[3]。(3)完善全方位实时监控机制。补齐监控盲区短板,增设高精度传感设备,覆盖全站所有一次、二次设备,实现线路、开关柜、变压器等设施的全维度数据采集。拓宽监控范畴,除常规电气参数外,增设备温度、绝缘性能、机械损耗、老化程度等隐性状态监测项目,打造全天候、全覆盖、多层次的实时监控体系。搭配可视化监控界面,直观展示运行状态,触发异常数据立即发出声光告警,实现隐患超前预判,变被动运维为主动防控。

3.2 智能控制技术升级策略

(1)人工智能算法在控制中的应用。深度融入人工智能、大数据分析技术,将神经网络、模糊控制、专家系统等算法嵌入自动化控制系统,实现电网负荷智能预测、设备状态智能评估、运行参数智能调节。依托历史运行数据,训练系统自主学习能力,让系统适配复杂多变的电网工况,自动调整运行策略,优化负荷分配。利用AI算法实现故障提前预警,摆脱固定程序管控的局限,大幅提升系统智能化、自适应调控水平。(2)推进设备智能化改造与升级。分批完成老旧设备淘汰更换,对可改造设备进行智能化升级,统一硬件接口与通信协议,解决新旧设备兼容问题。推广应用智能传感器、智能测控装置、数字化保护设备,提升设备自主感知、自主判断、自主执行能力。推行设备即插即用模式,简化系统调试流程,让全站设备适配新一代自动化管控平台,释放系统最大运行效能,贴合智能电网建设要求^[4]。(3)优化通信网络架构与安全防护。优化通信网络拓扑结构,选用

抗干扰能力强的通信线缆与设备,降低电磁干扰、环境因素对信号传输的影响,杜绝数据丢包、传输中断问题。严格遵循IEC61850等通信标准,保障数据高速、稳定传输。构建全方位网络安全防护体系,加装防火墙、数据加密装置,设置访问权限,防范网络攻击、恶意入侵等风险,建立数据备份机制,严防数据丢失泄露,守护通信网络与系统运行安全。

3.3 运维管理体系完善策略

(1) 建立自动化全周期运维模式。摒弃传统事后维修模式,建立设备采购、安装、运行、养护、报废全生命周期自动化运维体系。搭建精细化运维管理平台,整合设备运行、检修、养护数据,实现运维流程标准化、规范化。推行状态检修、预防性养护模式,定期开展设备检测保养,实时追踪设备健康状态,延长设备使用寿命,降低设备故障率,提升运维整体效率。(2) 强化专业人员技能培训体系。针对自动化系统技术特点,定制专项技能培训计划,开展电力技术、计算机操作、软件调试、网络维护、故障处置等多方面培训,补齐人员技能短板。定期开展实操演练,提升工作人员对智能系统的操控能力、故障应急处理能力。建立考核机制,督促人员提升专业素养,打造一支懂技术、会操作、善维修的专业运维团队。(3) 健全应急控制与处置预案。针对电网跳闸、设备故障、网络攻击等各类突发状况,制定细化、可落地的应急处置预案,明确处置流程、责任分工、操作步骤。定期开展实战化应急演练,模拟真实故障场景,检验预案可行性,及时修补预案漏洞。强化人员应急意识,确保突发状况下能够快速遵照预案开展处置工作,最大限度降低故障损失,快速恢复供电^[5]。

3.4 优化策略实施保障措施

(1) 资金投入与资源配置保障。加大专项建设资金投入,合理规划资金使用,优先保障设备改造、技术升级、运维建设等核心项目开支。统筹调配人力、技术、物资资源,建立专属物资储备库,保障检修设备、应急物资

充足供应,打通技术引进、设备采购渠道,为各项优化措施落地提供坚实的物资与资金支撑。(2) 制度规范与标准体系建设。完善变电站自动化控制管理制度,制定设备运行、检修维护、操控流程等各项标准细则,明确岗位职责,做到有章可循。严格遵照国家电网技术标准与行业规范,推进系统建设、设备运维标准化,规范工作流程,杜绝违规操作,保障各项优化措施依规落实。(3) 技术监督与效果评估机制。建立常态化技术监督机制,对系统运行、设备状态、运维工作进行全程监管,及时排查整改问题。定期开展优化效果评估,对比优化前后运行效率、故障发生率、运维质量等指标,复盘实施效果。根据评估结果调整优化策略,持续改进完善,让自动化控制体系始终保持高效、稳定运行。

结束语

变电站自动化控制是电力系统升级的核心环节,解决现存问题、完善控制策略,对电网平稳运行意义重大。本文提出的优化策略,贴合变电站实际运行需求,可有效提升系统协同性、故障处置能力与运维水平。后续需持续跟进技术迭代,深化智能算法应用,完善运维与应急体系,结合实际工况动态调整策略。未来要持续推进数字化、智能化建设,筑牢电网安全防线,助力电力行业高质量、可持续发展。

参考文献

- [1]黄建华.电力系统自动化技术在变电站施工中的应用[J].大众标准化,2025,6(5):65-67.
- [2]施卫华.变电站自动化系统结构及发展趋势[J].绿色科技,2025,27(2):263-270.
- [3]杨睿.新型电力系统下的智能变电站设备检修技术[J].城市建筑空间,2024,31(S2):430-431.
- [4]韩科健.变电站电力系统自动化智能控制技术分析[J].仪器仪表用户,2024,31(1):95-97.
- [5]王梅.浅析变电站电力系统的自动化智能控制技术[J].模具制造,2023,23(12):173-175.