

供电系统输配电及用电工程自动化运行分析

朱烨雄 杨彩霞 郭加富 黄倩 王志林

云南铝业股份有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17832

[摘要] 能源转型加速与用电需求多元化背景下,供电系统输配电及用电工程自动化成为提升供电可靠性与效率的核心,其依托“感知-通信-控制-应用”四层架构实现电力流与信息流协同。但实际运行中,设备协同兼容性不足、数据质量与处理能力薄弱、负荷适配难度大及安全防护不完善等问题突出,制约自动化效能。为此,需通过设备标准化选型与系统整合强化协同管控,构建“边缘计算+云计算”数据治理体系提升智能处理能力,基于负荷分类实施差异化调控并完善“源-网-荷-储”协同机制,搭建“网络-设备-软件”多层次安全防护体系,创新“远程监控+智能巡检”运维模式。系列优化策略可破解运行瓶颈,为供电系统智能化升级、构建现代供电体系提供坚实保障。

[关键词] 供电系统; 输配电工程; 用电工程; 自动化运行; 运行优化

中图分类号: TM727 **文献标识码:** A

Automation Operation Analysis of Power Supply System Transmission, Distribution, and Utilization Engineering

Yexiong Zhu Caixia Yang Jiafu Guo Qian Huang Zhilin Wang

Yunnan Aluminum Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of accelerated energy transition and diversified electricity demand, the automation of power supply system transmission, distribution, and utilization engineering has become the core of enhancing power supply reliability and efficiency. It relies on a four-layer architecture of "perception-communication-control-application" to coordinate power flow and information flow. However, in actual operation, prominent issues such as insufficient equipment synergy and compatibility, weak data quality and processing capabilities, significant load adaptation difficulties, and incomplete security protection hinder automation effectiveness. To address this, it is necessary to strengthen coordinated control through standardized equipment selection and system integration, build a "edge computing + cloud computing" data governance system to enhance intelligent processing capabilities, implement differentiated regulation based on load classification and improve the "source-grid-load-storage" coordination mechanism, establish a multi-level "network-equipment-software" security protection system, and innovate an "remote monitoring + intelligent inspection" operation and maintenance model. This series of optimization strategies can overcome operational bottlenecks, providing solid support for the intelligent upgrade of power supply systems and the construction of a modern power supply system.

[Key words] Power supply system; Transmission and distribution engineering; Utilization engineering; Automation operation; Operation optimization

引言

在能源转型加速、用电需求愈发多元的当下,供电系统输配电及用电工程自动化是提升供电可靠性与效率的核心手段。其借助多层技术架构达成电力与信息流的协同,然而实际推进时,设备协同、数据处理、负荷适配及安全防护等方面问题频现。深入探究成因并提出优化策略,对电力系统智能化升级意义重大。

1 供电系统输配电及用电工程自动化技术基础

供电系统输配电及用电工程自动化运行依托“感知-通信-控制-应用”四层技术架构,实现电力流与信息流协同管理。感知层为基础,通过智能传感器(电流、电压、温度传感器)、馈线终端单元(FTU)、配电终端单元(DTU)及智能电表,实时采集输配电线路参数、设备运行状态与用户用电数据,为自动化决策提供

原始数据。通信层承担数据传输功能,采用光纤通信、电力无线专网与物联网多方式融合架构,光纤通信支撑主干网大容量数据交互,电力无线专网与物联网适配分散节点接入,实现全场景数据贯通。控制层是核心,基于监控与数据采集系统(SCADA)、配电自动化系统(DAS)及可编程逻辑控制器(PLC),对采集数据实时分析并生成控制指令,下发至执行设备实现自动调控。应用层面向业务场景,提供负荷管理、故障诊断、需求响应等功能,如通过用电信息采集系统引导错峰用电,依托配网自动化系统实现故障自动隔离。技术应用需结合输配电网拓扑与负荷特征,构建差异化管控模式,确保与实际需求精准匹配^[1]。

2 供电系统输配电及用电工程自动化运行的关键影响因素

2.1 设备协同与兼容性

自动化运行依赖多类型设备协同,设备兼容性与协同能力直接影响效率。部分供电系统中,输配电环节的FTU、DTU与用电环节的智能电表、充电桩等来自不同厂商,存在通信协议不统一(如部分支持IEC 61850协议,部分用传统串口协议)、数据格式差异大的问题,形成数据交互“壁垒”,导致配网自动化系统难获取充电桩实时负荷数据,影响充电负荷调控。同时,部分老旧设备无远程控制功能,与新建系统无法协同,形成“自动化孤岛”;设备间时间同步精度不足(如时钟偏差超10ms),还会导致故障定位数据采集时间不一致,影响诊断准确性。

2.2 数据质量与处理能力

自动化运行需海量数据支撑决策,数据质量与处理能力是关键制约。数据采集层面,输配电线路地处山区、工业区等复杂环境,传感器易受电磁干扰、温湿度变化影响,导致数据含噪声(如电流波动过大)或缺失(如通信中断致数据断链);用户侧用电数据则面临负荷波动频繁(如工业设备启停致负荷骤变)、数据量大(如数百万用户分钟级数据)的问题,预处理不及时会影响分析精度。数据处理层面,传统集中式平台处理实时数据(如故障录波数据)时延超100ms,难满足快速决策需求;且数据挖掘仅停留在统计层面,无法精准预测负荷变化,导致调度策略缺乏前瞻性。

2.3 负荷特性与适配能力

用电负荷的多元化与波动性对自动化适配能力提出更高要求。随着分布式光伏、电动汽车、储能等大量接入,负荷呈现随机性(如光伏出力受光照影响)、间歇性(如充电负荷集中晚间)、冲击性(如工业电弧炉启停致负荷突变)特征,传统固定时段调度策略难以适应,例如光伏出力骤增时未及时调压可能致配网电压越限,充电负荷集中时未管控会造成配变过载。此外,工业用户负荷大、需高可靠性,居民用户负荷分散、对电能质量敏感,自动化系统若未制定差异化策略,会降低运行效率,无法满足个性化需求^[2]。

2.4 安全防护与风险应对

网络攻击、设备故障等安全风险直接威胁供电稳定。网络安全方面,自动化系统依赖网络传输数据,通信链路遭攻击(如

数据篡改、勒索病毒)可能致控制指令错误,引发开关误动、负荷误切;用户侧智能设备(如智能电表)若有安全漏洞,易被入侵并作为跳板攻击核心系统。设备安全方面,输配电自动化设备(如智能开关、变压器监测装置)长期在高电压、大电流环境运行,易出现绝缘老化、硬件故障,若未及时发现会致自动化功能失效(如FTU故障影响故障定位);自动化系统软件缺陷(如逻辑漏洞)也可能导致调控出错,引发运行风险。

3 供电系统输配电及用电工程自动化运行优化策略

3.1 推进设备标准化与协同管控

针对设备协同与兼容性问题,需从设备选型、协议统一、系统集成三方面推进优化。在设备选型阶段,制定统一的自动化设备技术标准,明确通信协议(如强制采用IEC 61850标准)、数据格式、接口类型等要求,确保新采购设备具备良好兼容性;对于老旧设备,制定分阶段改造计划,通过加装通信模块、升级固件等方式,使其接入统一自动化系统,消除“自动化孤岛”。

在系统集成方面,构建输配电及用电一体化自动化平台,打通配网自动化系统、用电信息采集系统、充电桩管理系统等数据接口,实现设备状态、负荷数据、电能质量数据的集中汇聚与共享;建立设备协同控制机制,例如将配网自动化系统与分布式光伏逆变器联动,根据光伏出力变化实时调整配网电压,避免电压越限;同时,采用高精度时间同步技术(如北斗时钟同步),确保所有自动化设备时钟偏差控制在1ms以内,提升故障诊断与数据分析的准确性。此外,建立设备全生命周期管理台账,实时监测设备运行状态,提前预警设备老化、故障风险,保障设备协同运行稳定性^[3]。

3.2 强化数据治理与智能处理能力

提升数据质量与处理能力,需构建“采集-预处理-分析-应用”全链条数据治理体系。在数据采集环节,优化传感器部署方案,针对复杂环境(如高电磁干扰区域)选用抗干扰能力强的工业级传感器,采用多传感器冗余采集(如同一线路部署2-3个电流传感器),减少数据缺失与噪声;对用户侧用电数据,采用边缘计算节点进行本地预处理,过滤异常数据(如通过3 σ 准则剔除负荷突变的异常值),再上传至云端平台,降低数据传输压力。

在数据处理平台建设方面,采用“边缘计算+云计算”协同架构:边缘计算节点部署于配网台区、用户侧,负责处理实时性要求高的数据(如故障录波数据、负荷实时调控指令),处理时延控制在50ms以内;云计算平台则承担海量历史数据存储与深度分析任务,利用大数据分析算法(如时间序列分析、聚类分析)挖掘负荷规律(如用户用电峰谷时段、季节性负荷变化趋势)、故障特征(如线路故障前的电流、电压变化模式),为调度策略制定、故障预警提供支撑。同时,引入人工智能算法(如神经网络、随机森林),构建负荷预测、故障诊断模型,例如通过分析历史负荷数据与气象数据,实现未来24小时用户负荷预测,精度提升至95%以上,为有序用电、负荷转移提供决策依据。

3.3 优化负荷特性适配与差异化调控

针对负荷多元化与波动性问题,需从负荷监测、分类管控、

灵活调度三方面制定策略。首先,构建全方位负荷监测体系,通过智能电表、负荷监测终端,实时采集工业、居民、商业等不同类型用户的负荷数据,分析负荷特性(如工业负荷的连续性、居民负荷的时段性),建立负荷特性数据库,为差异化调控提供数据支撑。

在分类管控方面,针对工业用户,制定基于生产计划的有序用电策略,通过自动化系统向用户推送错峰用电建议,引导高耗能设备在负荷低谷时段运行;针对居民用户,开发智能用电APP,实时展示用电负荷与电价信息,引导用户调整用电习惯(如避开高峰时段使用大功率电器);针对新能源与储能设备,构建“源-网-荷-储”协同调度机制,例如当分布式光伏出力骤降时,自动化系统自动启动储能放电,补充负荷缺口,避免配网功率失衡;当电动汽车充电负荷集中时,通过充电桩管理系统实行有序充电,根据配变负载率动态调整充电功率,防止配变过载。此外,建立负荷弹性管理机制,识别可调节负荷(如空调、储能、电动汽车),在供电紧张时通过自动化系统引导这些负荷削减或转移,提升供电系统灵活性^[4]。

3.4完善安全防护体系与风险应对

保障自动化运行安全,需构建“网络安全-设备安全-软件安全”多层次防护体系。在网络安全方面,采用分区隔离技术,将自动化系统划分为生产控制区、管理信息区,两区之间部署防火墙、单向隔离装置,防止外部攻击渗透;对数据传输过程,采用加密技术(如AES加密、SSL/TLS协议),确保数据不被篡改、窃取;建立网络安全监测平台,实时监测通信链路、服务器、终端设备的异常行为(如异常登录、数据大量传输),发现攻击行为立即触发告警并阻断。

在设备安全方面,定期对输配电自动化设备(如FTU、智能开关)进行绝缘检测、性能测试,及时更换老化、故障设备;在设备设计阶段,增加硬件冗余(如双电源供电、冗余CPU),提升设备抗故障能力;针对用户侧智能设备,制定安全准入标准,强制设备厂商修复已知安全漏洞,避免设备成为攻击入口。

在软件安全方面,建立自动化系统软件全生命周期安全管理流程,从需求分析、开发测试到部署运维,全程进行安全检测(如代码审计、渗透测试),消除软件逻辑漏洞;定期对系统软件进行升级、补丁更新,防止漏洞被利用;建立应急响应机制,制定自动化系统故障应急预案(如系统瘫痪、数据丢失),明确应急处置流程与责任分工,确保故障发生后能快速恢复系统运行,减少停电损失。

3.5创新运维模式与技术支持

提升自动化运行稳定性与效率,需创新运维模式,强化技术支持。在运维模式方面,构建“远程监控+现场巡检”协同运维体系:通过自动化监控平台实时监测输配电线路、设备运行状态,对轻微故障(如遥信变位)实现远程诊断与处置;对复杂故障(如设备硬件损坏),通过平台定位故障位置,生成巡检工单,派遣运维人员携带专用工具前往处置,减少巡检盲目性,提升运维效率。

引入无人机巡检、机器人巡检技术,针对山区、跨河等复杂地形的输配电线路,采用无人机搭载红外热像仪、高清摄像头,实现线路走廊巡检、设备热缺陷检测,替代人工巡检,提升巡检效率与安全性;在配电台区,采用配电巡检机器人,实现设备状态自动检测、表计抄核等功能,降低人工劳动强度。

在技术支持方面,建立自动化运行技术培训体系,定期对运维人员、调度人员进行技术培训,内容涵盖自动化系统操作、故障诊断、应急处置等,提升人员专业能力;与高校、科研机构合作,开展自动化技术研发(如新型传感器、智能调度算法),推动技术迭代升级;建立自动化运行效果评估机制,定期从供电可靠性、电能质量、运行效率等维度评估自动化系统运行效果,针对存在的问题持续优化,确保自动化技术充分发挥作用^[5]。

4 结语

供电系统输配电及用电工程自动化运行的优化是一项系统性工程,需兼顾技术适配、风险防控与模式创新。通过设备标准化、数据智能治理、负荷差异化调控、多层次安全防护及运维升级等策略,可有效破解运行中的核心难题。未来需持续深化技术融合与机制完善,强化各环节协同联动,让自动化系统充分释放效能,为构建安全、高效、灵活的现代供电体系提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]赵长浩.输配电及其用电工程自动化运行技术分析[J].仪器仪表用户,2025,32(3):154-156.
- [2]常林军.自动化运行技术在输配电及用电工程中的应用策略分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(10):163-166.
- [3]苗志明.自动化运行技术在输配电及用电工程中的应用[J].中国科技纵横,2025(6):138-140.
- [4]郑森.电力工程输配电与用电工程自动化运行技术研究[J].互联网周刊,2025(19):58-59.
- [5]王岩,许嘉辉.探究输配电及用电工程的自动化运行维护技术[J].电力设备管理,2025(16):13-15.