

智能电网中的自动化变电系统技术研究

刘超, 张航, 包爽, 裴冬, 张东卓

国网吉林省电力有限公司松原供电公司, 吉林 松原 138000

DOI: 10.61369/SSSD.2026080014

摘 要 : 随着能源转型和数字技术的深度融合, 智能电网已成为电力系统未来发展的主要方向, 自动化变电系统是智能电网的枢纽, 担负着电能转换、传输调节和安全保障的主要任务。自动化变电系统将计算机技术、通信技术和电力电子技术有机融合, 有效提高了电力系统运行的可靠性、调控的灵活性以及能源利用效率。基于此, 本文将浅析自动化变电系统在智能电网中的应用价值及核心技术, 并对智能电网中自动化变电系统技术的优化路径进行探讨, 以期为智能电网的全面建设提供理论参考。

关 键 词 : 智能电网; 自动化变电; 继电保护技术

Research on Automated Substation System Technology in Smart Grid

Liu Chao, Zhang Hang, Bao Shuang, Pei Dong, Zhang Dongzhuo

Songyuan Power Supply Company, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Songyuan, Jilin 138000

Abstract : With the in-depth integration of energy transition and digital technology, smart grid has become the main direction of the future development of power systems. The automated substation system, as the hub of the smart grid, undertakes the main tasks of power conversion, transmission regulation and safety guarantee. By organically integrating computer technology, communication technology and power electronics technology, the automated substation system effectively improves the reliability of power system operation, the flexibility of regulation and control, and energy utilization efficiency. Based on this, this paper briefly analyzes the application value and core technologies of the automated substation system in the smart grid, and discusses the optimization paths of the automated substation system technology in the smart grid, aiming to provide theoretical references for the comprehensive construction of smart grids.

Keywords : smart grid; automated substation; relay protection technology

自动化变电系统是智能电网的重要组成, 依靠先进的计算机技术、通信技术、电力电子技术和传感技术, 对变电站一次设备、二次设备进行全方位的升级改造, 实现设备运行状态的实时监测、故障快速诊断和隔离、运行参数的精准调控、运维过程的自动化和智能化。因此, 研究智能电网中的自动化变电系统技术, 对于推动智能电网高质量发展、提升电力系统的综合竞争力具有重要的理论价值与工程意义。

一、自动化变电系统在智能电网中的应用价值

(一) 提升供电可靠性与稳定性

安全稳定是智能电网运行的基本条件, 自动化变电系统通过建立全方位、多层次的安全防护体系, 从根源上解决了传统变电站故障反应较慢、人为误操概率较高、信息断层等难题, 为智能电网构筑起坚固的安全防线^[1]。另外, 自动化变电系统通过部署海量高精度传感器, 对主变压器、断路器等一次设备的电压、电流、温度、SF₆压力等运行数据进行不断地采集, 并应用小波分析、AI 异常模式识别等技术, 提前发出预警并精确诊断。同时, 系统按照 IEC 61850 标准搭建统一的通信架构, 使各个设备之间

能够进行语义上的交流和逻辑上的闭锁, 配合一键顺控功能的双重防误校验机制, 以有效避免因人为操作错误而造成的风险, 不断提升变电站运行的安全裕度。

(二) 优化运行管理与效率

传统变电站依靠人工巡检、手动操作, 容易出现运维流程繁杂、巡检效率低、缺陷识别不准等状况, 而自动化变电系统用“无人化、智能化、精益化”的运维方式大大改善了运维流程, 使运行管理质量与效率明显提升。系统支持断路器分合闸、倒闸操作等任务的远程控制和程序化操作, 500kV 智能变电站应用自动化系统后, 倒闸操作时间可缩短至十几分钟, 中压主变送电操作可以一人后台启动, 几分钟内便能自动完成。在巡检和检修上,

自动化变电系统将智能巡检机器人、无人机、在线监测装置等设备有机融合,开展设备全天候、全方位的巡检工作,无人机携带红外热成像仪和激光雷达,缺陷识别准确率达到98%,可以及时发现绝缘子破损、导线断股等隐蔽性故障^[2]。

二、智能电网中自动化变电系统的核心技术

(一) 数字化采集技术

数字化采集技术属于自动化变电系统的基础,其主要作用就是对变电站内各种设备运行参数实施实时采集、转换并传送,从而给系统调控、保护以及故障诊断赋予精确的数据支持。相比传统的模拟采集技术来说,数字化采集技术具有更高的采集精度、更强的抗干扰性、更快的传输速度、更好的兼容性等特点,也是变电站数字化升级的关键技术。

数字化采集技术的主要设备有电子式互感器、智能传感器、合并单元等,电子式互感器是数字化采集的关键设备,可以将高电压、大电流等模拟信号直接转换成数字信号,避免了传统电磁式互感器存在的铁芯饱和、励磁损耗、信号畸变等问题,提高了采集数据的精度和可靠性。智能传感器可以采集到设备的温度、湿度、振动、绝缘状况等非电气参数,可以对设备的运行状况进行全方位的监测,给设备的预测性维护提供依据^[3]。合并单元将各个传感器、互感器的信号进行合并、同步处理,得到标准的数字信号,保证数据采集的同步性、一致性。

(二) 智能继电保护技术

继电保护技术能够快速察觉设备出现的故障,发出保护指令,把故障设备从电力系统中隔离出去,防止故障范围扩大,保证变电站和整个电力系统的安全稳定运行。智能继电保护技术是指传统继电保护技术和智能化技术相结合而形成的一种技术,它可以达到保护功能自适应、智能化、协同化的目的,提高继电保护的可靠性、快速性。自适应保护是智能继电保护技术的主要特点,即可以按照变电站运行情况、负荷变动、故障种类等条件,自行改变保护参数,改进保护方案,从而避开传统继电保护出现的保护盲区、误动作、拒动等状况^[4]。例如在系统负荷较低的时候,适当调节保护定值来提高保护的灵敏度,在系统发生故障的时候,迅速确定故障类型和故障位置,自动选择最佳的保护方案,从而达到快速隔离故障的目的。

智能继电保护技术的主要设备就是智能继电保护装置,通过结合计算机技术、通信技术和保护算法,可以实时收集设备运行数据,依靠内部的保护算法迅速找出故障,并发出保护指令,而且还可以同其他保护装置、测控装置开展信息交流,达成协同保护的目,从而提高保护系统可靠性^[5]。智能继电保护装置的保护算法主要有自适应保护算法、智能故障识别算法、协同保护算法等,自适应保护算法可以根据系统运行状态的变化来自动调节保护参数,智能故障识别算法可以迅速确定出故障类型、故障位置、故障程度并为故障处理提供依据,协同保护算法可以实现各个保护装置之间的协同工作,防止出现保护误动、拒动的现象。

(三) 自动调控技术

自动调控技术能够按照智能电网的调度命令和变电站的运行状况,自动调节设备的运行参数,改善电能品质,达成电力资源的合理调配,提升变电站的运行效能和经济价值。自动调节技术有电压无功自动调节技术、负荷自动分配技术、储能协同调节技术等。

电压无功自动调节技术属于自动调节技术的主要部分,它的主要目的就是保持变电站母线电压稳定,改善无功功率分配,减小网损,提高电能质量。该技术可以实时采集变电站电压、电流、功率因数等运行参数,按照预先设定好的电压阈值和无功功率目标,自动调节无功补偿设备(电容器组、电抗器)的投切以及变压器分接头的调节,达到电压和无功功率自动平衡的目的^[6]。电压无功自动调节技术依靠先进的控制算法,比如模糊控制算法、PID控制算法、模型预测控制算法等等,可以迅速应对电压和无功功率的变动,从而达成精确调节的目的,避免传统的人工调节存在响应缓慢、调控不准这些缺点。

(四) 通信技术

有线通信技术是自动化变电系统的主要通信方式,主要包括以太网、光纤通信、RS485总线通信等。以太网主要用在站控层和间隔层之间,具有传输速度快、兼容性好、可扩展性强等特点,可以满足大量的数据快速传输的要求;光纤通信主要用在过程层和间隔层、站控层之间远距离通信上,具有抗干扰能力强、传输损耗小、传输速率高、安全性好等特点,可以有效地避免电磁干扰对通信信号的影响,保证通信的可靠性;RS485总线通信主要用在过程层各个设备之间的短距离通信上,具有接线简单、成本低、抗干扰能力强等特点,适合于小规模设备信息交互^[7]。

无线通信技术是为了解决有线通信线路无法覆盖的户外设备、移动运维设备等场景而产生的,主要技术有5G、Wi-Fi、LoRa等。5G技术具备高速度传输、低延迟、高连接的特点,能够实现设备运行数据的实时传递以及远程操控,在一些对实时性有较高要求的情况下适用,在Wi-Fi里,它是指站内移动设备间的通信,运维人员所持的终端属于此类范畴,接入便捷且成本较低,适用于户外设备的远程监测及通信。

三、智能电网中自动化变电系统技术的优化路径

(一) 提升核心设备国产化水平

进一步加大核心设备和关键零部件的研发力度,实现核心技术的自主可控,提高国产化程度。一方面,政府相关部门要加大政策扶持力度,促进企业、科研机构进行核心技术的研发工作,创建产学研协同创新体系,攻克高端芯片、实时操作系统等关键核心技术难题,提高国产设备的可靠性和精度水平。另一方面,企业要加大技术创新和产品更新换代的速度,改进产品的设计质量,提高产品的质量,逐步取代进口设备,减少对国外供应链的依赖。同时,还要加强国产设备的测试和验证,保证设备可以满足自动化变电系统运行的要求,推动国产设备的规模化使用。

（二）强化网络安全防护体系建设

建立健全网络安全防护体系，加强自动化变电系统网络安全防护水平。首先，使用加密技术、身份认证技术以及访问控制技术，在数据通信系统中对网络流量实施加密处理来保障数据安全，同时，加强对系统的实时监测，及时发现并处置网络攻击。其次，建立统一的安全防护体系，使系统内的各个设备之间可以互相协作进行安全防护，防止出现安全漏洞；对老旧系统进行升级改造，提高老旧系统安全防护的能力^[8]。最后，不断加强网络安全管理，制定完善的安全管理制度，规范运维操作，加强安全培训，提升运维人员网络安全意识和应急处置能力，培养出具有复合型安全人才的运维团队来满足网络安全防护的需求。

（三）提升多能源协同调控能力

改善自动化变电系统多能源协同调控能力，达到源网荷储协同互动的目的。首先，提高系统对新型电力元素的接入兼容性，对老旧系统进行升级改造，支持分布式能源、储能系统、电动汽车等设备的接入，实现多能源的统一控制。其次，完善协同调控算法，创建多能源优化调度模型，融合人工智能、大数据等技术，达成电力资源的最优化调配，加强可再生能源的消纳能力^[9]。再者，加强系统同分布式能源、储能系统、用户之间的信息交流，冲破信息孤岛，达成运行数据的实时共享，促使源网荷储互相影响。最后，创建多能源协同调控机制，明晰各个参与方的职责和权益，达成多能源的协同调度和优化运作。

（四）提高智能运维水平

优化状态监测与故障诊断技术，提升自动化变电系统的智能

运维水平。提高状态监测技术的精度和可靠性，研制高精度、高可靠的智能传感器，改善数据采集与处理技术，防止数据失真，给故障诊断赋予准确的数据支撑。改进故障诊断技术的智能化程度，把人工智能、机器学习等技术融入进去，构建智能化故障诊断模型，提高复杂故障的诊断水平，达成故障的自动识别、诊断并加以处理。推行预测性维护技术的应用，经由对设备运作数据趋势的剖析，预估出设备的故障时刻及故障种类，制订预测性维护计划，削减设备故障出现的概率，缩减运维开支^[10]。此外，还要加强运维人员的专业训练，优化运维人员的技术水平和综合素养，培育懂得人工智能、大数据等新技艺的复合型运维人才，契合智能运维的要求。

四、结语

综上所述，随着智能电网建设速度的加快，智能变电站的数量也与日俱增。自动化技术为变电站的自动化系统提供了强有力的技术支持。但若想进一步提升变电站运行的高效性、安全性及稳定性，还需积极收集数据反馈，并进行针对性地改进，从而实现自动化变电系统技术的持续优化与创新。未来，人工智能、物联网等数字技术不断地更新迭代，自动化变电系统将朝着更深度的智能化、更全面的协同化以及更可靠的安全化方向发展。

参考文献

- [1] 孙盟，何超杰. 智能电网中的变电运维技术分析 [J]. 电子技术，2025, 54(09): 196–197.
- [2] 陈乔雨，贺润平. 智能电网中的变电一次设备运维管理研究 [J]. 电子元器件与信息技术，2025, 9(08): 93–95.
- [3] 周维初. 基于智能电网技术的变电运维自动化与协同优化策略研究 [J]. 电气技术与经济，2025, (03): 264–266.
- [4] 刘海成. 智能电网中的电力系统自动化技术研究 [J]. 光源与照明，2024, (12): 210–212.
- [5] 姚飞飞，顾合成. 配电网自动化技术在电力系统中的应用 [J]. 集成电路应用，2024, 41(05): 260–261.
- [6] 周文龙. 输配电与用电系统中的自动化技术分析 [J]. 电子技术，2024, 53(06): 336–337.
- [7] 王禹然，赵子凌龙. 智能电网中的变电运行技术分析 [J]. 集成电路应用，2023, 40(11): 240–241.
- [8] 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, (09): 90–92.
- [9] 胡芊芊. 智能电网配电自动化发展分析 [J]. 农村电工，2022, 30(08): 38–39.
- [10] 苏建民. 智能电网的变电运行分析 [J]. 大众标准化，2022, (02): 84–86.