

Application and development trend of key technologies of intelligent substation in power engineering

Houzhao Wang

Qingdao University of Technology, Linyi, Shandong, 273400, China

Abstract

New power systems are gradually entering the stage of intelligent development. As an important node of power grid intelligence, smart substations have become one of the important contents of current power engineering projects. From the perspective of the overall technical architecture of smart substations, this paper discusses the related technologies of smart substation secondary equipment, networked secondary systems and information integration platforms, and explores that smart substations are based on intelligent equipment, system integration, and informatization. Carry out primary equipment installation, secondary equipment debugging and other work to improve the reliability and flexibility of power grid operation and the convenience of operation and maintenance. Finally, the future technology development direction is analyzed in terms of technology integration, functional evolution, system optimization and other aspects, and other digital twins, artificial intelligence and other technologies are in-depth integrated with smart substations. translate error translate error

Keywords

power engineering; Intelligence; Substation; Key technologies; Application and development

电力工程中智能变电站关键技术应用与发展趋势

王厚卓

青岛理工大学, 中国·山东 临沂 273400

摘要

新型电力系统逐渐步入智能化发展阶段,智能变电站作为电网智能化的重要节点,其技术研发、技术创新成为当前电力工程项目的重要内容之一。本文从智能变电站总体技术架构角度出发,围绕智能变电站二次侧设备、网络化二次系统以及信息集成平台相关技术展开论述,探索了智能变电站以智能化设备、系统集成、信息化为基础,通过开展一次设备安装、二次设备调试等工作提高电网运行的可靠性和灵活性及运维便利性等问题。最后针对技术融合、功能演变、系统优化等方面分析未来技术发展方向,并对其余数字孪生、人工智能等技术与智能变电站开展深度融合。

关键词

电力工程; 智能; 变电站; 关键技术; 应用与发展

1 引言

伴随全球能源格局大调整和“双碳”目标不断推进,在清洁化、智能化、去碳化的战略转变中,以变电站为代表的电力系统也步入了新的时代。伴随着新型电力系统的进一步发展,智能变电站迎来了更多发展的机会与机遇。一方面,新能源大量接入以及各类负荷的增长,需要提高变电站的灵活程度;另一方面,各种新技术的涌现也可以为智能变电站实现升级换代提供全新的技术路线,因此,本文立足于这一现状,从业务领域进行对智能变电站关键技术的应用研究和分析,并阐述发展趋势。为促进我国智能变电站技术创新、工程应用以及科学合理发展,笔者基于技术发展现状和工程

应用需求,以系统架构为基础,从系统架构、关键技术、应用场景及发展趋势等方面入手,围绕智能变电站技术体系展开了全面深入的分析与展望,望能起到一定参考价值。

2 智能变电站的技术架构与系统集成

2.1 分层分布式系统架构的深化发展

智能变电站采用符合 IEC61850 标准的分层体系结构,实现了统一建模、统一通信的标准化要求,在过程层,合并单元和智能终端等组成系统的感知和控制基础,实现了电气量采集、状态监测和开关控制的数字化和智能化;通过高精度采样和实时处理为上层系统提供准确可靠的数据源。间隔层是整个变电站的一种承上启下,将众多的功能装置汇聚起来,负责整体变电站的一些关键功能。例如,间隔层可以使用各种就地化和分布式的方式进行布置,这样既可以加快数据的反应速度,也可以保证一些必要的校验工作。站控层则

【作者简介】王厚卓(2006-),男,中国山东济宁人,在读本科,从事电力工程研究。

形成了一个统一的信息平台，可以把变电站内的各种信息汇聚到这个平台上，集中在一个地方完成监控、远动、故障录波等等所有的工作，并完成对全站数据进行处理、存储、分析和可视化的任务。其优点在于它的高度灵活性和扩展性，各层次间可以通过高速工业以太网实现无阻塞、无缝联接构成信息互通、功能协同的整体；智能变电站的网络架构设计上主要以冗余环网或者星型为主，有效的保证了其数据传输的可靠性和实时性；与此同时对网络严格分区以及对于各类业务流的有效管控也保证了其传送优质的关键业务数据，为变电站的安全稳定运行打下了坚实的基础。

2.2 一体化业务平台与信息集成的技术突破

智能变电站的一体化业务平台建设是系统集成的核心内容。该平台通过统一的硬件架构和软件环境，实现了保护、测量、控制、计量等功能的深度整合。在硬件层面，通过模块化设计实现功能的灵活配置和扩展。在软件层面，实现了各功能模块的即插即用和协同工作。信息集成技术的突破是智能变电站发展的关键驱动力。通过建立统一的信息模型和标准化的通信协议，实现了全站数据的标准化描述和交互。具体而言，基于 IEC 61850 标准的统一信息建模，使得不同厂商、不同功能的设备能够实现无缝对接和信息共享。

表 1 智能变电站与传统变电站技术对比分析

技术维度	传统变电站	智能变电站	技术优势分析
通信协议	多协议混杂，互操作性差	IEC 61850 统一建模与通信	实现设备互操作，降低集成复杂度
采样方式	模拟量传输，精度受限	数字采样，SV 网络共享	提高采样精度，避免电磁干扰
控制链路	硬接线连接，布线复杂	GOOSE 网络跳闸	简化接线，提高系统灵活性
设备功能	独立分散，功能重复	集成化、平台化	提高资源利用率，降低投资成本
运维模式	定期检修，预防性维护	状态监测与预测性维护	提高运维效率，降低运维成本
信息共享	信息孤岛，共享困难	全站信息统一建模与共享	提升系统协同能力

3 智能变电站的关键技术体系

3.1 智能一次设备与集成传感技术的创新突破

智能一次设备中的技术革新主要是在于设备状态全面感知、智能控制、信息交互三方面，例如智能变压器将除了原有的油温油位采集之外，加入油中溶解气分析传感器、局部放电检测传感器以及绕组温度分布测量传感器等新型传感器，并通过多参数的数据融合分析，得到变压器当前的状态及可能出现的故障类型。以油中溶解气体来说，在线监测 H_2 、 CO 、 CH_4 等特征气体的含量和变化趋势，并利用人工智能的方法进行综合判断，得到对应的绝缘老化状态和故障类型。

3.2 网络化二次系统与信息安全防护体系

作为网络化的二次系统，是智能变电站的核心要素，而网络化二次系统的相关技术主要是指网络架构优化技术、通信协议标准化技术和信息安全防护技术。智能变电站通常是采用分层分区的网络结构，将系统划分为站控层网络、过程层网络以及间隔层网络，并且分别用防火墙和路由器将不同层的网络隔离开来。这为智能变电站提供了一种即有良好的实时性和可靠性，又有很好的安全性和可维护性的保护措施。从网络通信协议上看，智能变电站目前主要根据 IEC61850 规范来对采样值 SV 与 GOOSE 信息进行标准规约通信。为了保证上述信息的质量，以太网交换机利用虚拟局域网、优先级标记和流量整形等手段对智能变电站各网络中的不同业务流进行分类控制。

3.3 站内智能高级应用的功能演进

智能化程度提高是目前智能变电站高级应用功能的发

展趋势之一，主要是基于高级应用的单项功能向整体化的智能协同方向转变的过程，其中包括了智能诊断、状态评价系统功能的进一步完善与深化等。利用机器学习、深度学习等人工智能技术手段实现设备状态及故障信息的分析和智能化计算结果推送。例如，智能变电站中变压器状态评价以采集设备油色谱数据、局部放电数据以及温控数据作为基础信息，运用三维方式建立设备健康指数模型，将多种影响因素纳入考量范围之中，并通过历史设备运行情况及同类设备故障案例，判断变压器设备工作状况是否处于正常状态以及剩余使用寿命是否处于合格范围内。将多种故障综合分析的方法学应用到管理决策中，将原先相对落后的故障处理方式进行智能化的改革。智能变电站故障处理系统整合了各种保护动作、故障录波、开关变位序列等多源信息建立起了完整的故障分析知识库；在站内发生故障的时候能够自动识别出故障类型的故障，定位故障点，找出故障原因，生成对应的故障分析报告；同时也有故障处理建议，根据当前电网的运行情况，故障的严重程度自动生成最符合当前形势下的最优化的故障隔离方案以及最佳的故障供电恢复方案，以节约恢复时长，提高整体故障处理的效率。

4 智能变电站的发展趋势与挑战

4.1 技术融合与系统演进的深度发展

未来的智能变电站进入多技术深度融合发展的时代，数字孪生、人工智能、边缘计算等技术将在变电站领域实现深度融合，并通过实际应用进一步推动整个系统的架构和功能的全面提升，从而带动电网智能建造水平进一步提高。通过数字孪生技术可使变电站所有设备形成 1:1 映射的虚

拟空间,基于数字孪生平台实现设备的状态可监可视、运行方案的仿真实验、运维策略的优化决定;在虚拟空间内完成设备操作训练、系统功能检测、故障异常应激等工作。人工智能技术的应用从单一到整体,并逐渐由设备侧向系统侧演进,在设备层面上通过利用深度学习来达到对设备异常状态的超前预警和精确判定;在系统层面上运用强化学习等手段来改进优化运行策略,提升整个系统的经济性和可靠度;对于故障处理的问题可以借助人工智能技术来对已有故障的数据进行分析学习,得出一个更好的智能化的决策方案,并快速定位故障的发生点并进行自助处理。

4.2 标准化与互操作性的持续提升

尽管 IEC 61850 系列标准为智能变电站的建设奠定了坚实基础,但在实际应用中仍面临模型细化、工程配置、互操作测试等方面的挑战。未来标准化工作将重点关注以下几个方面:首先,在信息模型方面,需要进一步扩展和细化设备功能模型,完善状态监测、智能控制等新型功能的标准化描述。特别是随着新能源接入、储能系统等新元素的加入,需要建立统一的信息模型标准,确保新老设备的兼容性和互操作性。其次,在工程配置方面,将推动系统配置描述文件的标准化和自动化工具的发展。通过建立统一的工程配置流程和标准化的配置工具链,实现从系统设计、设备配置到调试投运的全过程标准化,降低工程实施的复杂度和成本。最后,在互操作测试方面,需要建立完善的测试标准和认证体系。通过制定详细的互操作测试规范,建立第三方测试平台,开展多厂商设备的互操作测试,确保不同厂商设备之间的无缝对接和协同工作。

4.3 低碳化与能源枢纽的功能转型

双碳目标驱动下,智能变电站由单纯的配电节点向综合能源服务中心转变,这也是智能变电站最重要的发展趋势之一。可以归纳为三个方面:①具备多能协同的能力,将智能变电站汇聚分布式光伏/风电、储能、柔性负荷等资源,建成区域化的能源管控中心,协调各类能源资源开展协调控制,实现能源的优、分配、利用,促进高比例可再生能源的消纳。②具有能源服务的功能,提供电动汽车充换电、数据中心供电、冷热电联供等多元能源服务,基于智能能源管理平台实现各类型能源服务之间的协调优化,提高变电站的服务价值。③集成了碳监测、碳管理等碳相关功能,在智能变电站侧提供碳监测点,采集记录整个系统的碳流动过程;同时为用户提供低碳用电策略,支撑电网运行碳中和;通过优化调度算法等方式,减少系统整体碳排放量,为电网达成碳中和目标提供技术支持。

5 面临的主要技术挑战与应对策略

虽然智能变电站技术取得了较为明显的进步,但在实际运用当中也存在一些问题,比如智能设备技术还不够完善,一些智能设备尤其是采用光学原理的传感设备、电力电子设备等存在设备长时间运行的可靠性以及对于外部环境的适应性的疑问,还有就是需要通过不断的对智能变电站设备的检测,形成完善的检测评估体系,在积累大量的长期运行数据的基础上不断地改进优化设备。网络安全动态防护体系建设。随着网络攻击方式的不断更新换代,以往单纯依靠静态的安全防护手段已经无法适应现今的网络安全防护需求。应当建立起能够实现态势感知、威胁预警、自动响应的动态防护体系,同时利用人工智能、区块链等新兴的技术手段对防护系统的主动防御能力进行提高。做好专业人才培养、运维体系的转型。智能变电站技术高度集中,要求运维人员要具有多方面知识,即不仅要通晓电力系统方面的知识,又要懂信息化方面的东西。

因此要建立完整的培训体系与认证机制,使运维人员的知识结构得到升级换代。并且还需要建立起以“数据驱动、状态评估、预知性维护”为基础的新运维模式,由原来定期的维保转为按状态修。

6 结语

智能变电站是智能电网的重要组成部分,其发展程度直接关系到电网智能化程度高低以及电网运行效能好坏,而以智能设备、高速网络、信息平台与高级应用为支撑的技术体系使得智能变电站能够实现设备状态全息感知、系统运行智能控制、运维管理精细高效等功能,为电网安全稳定运行及能源转变提供有力保障,在今后的技术不断提升以及应用不断深入的过程中将会更好的为电力系统、智能电网与变电站提供服务,为推动能源革命,建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系作出更大贡献。

参考文献

- [1] 宋昭.智能电网及其关键技术综述[J].城市建设理论研究(电子版),2016,(25):10-11.
- [2] 陈伟戡.主网输变电电力工程智能变电站的安全防护技术研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.第三届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.广东威恒输变电工程有限公司,2024:151-153.
- [3] 陈伟戡.主网输变电电力工程智能变电站的安全防护技术研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.第三届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.广东威恒输变电工程有限公司,2024:151-153.