

智能变电站继电保护调试技术优化与故障诊断研究

巨欣悦

国网襄阳供电公司, 湖北 襄阳 441000

DOI:10.61369/EPTSM.2025040005

摘 要 : 由于智能电网的快速发展, 促使智能变电站在电力系统中的占比不断地提高, 其继电保护系统的可靠性将会直接地关系到电力系统的安全稳定运行。为此文章分析了智能变电站继电保护系统的特点, 并探讨了现有继电保护调试技术存在的问题, 也提出了一系列的优化策略, 其中包括调试流程优化、调试工具改进以及调试方法创新等等。同时还研究了基于智能算法和在线监测的故障诊断技术, 如神经网络、专家系统等在继电保护故障诊断中的应用。

关 键 词 : 智能变电站; 继电保护; 调试技术优化; 故障诊断; 智能算法; 在线监测

Optimization of Relay Protection Commissioning Technology and Fault Diagnosis Research in Smart Substation

Ju Xinyue

State Grid Xyang Power Supply Company, Xiangyang, Hubei 441000

Abstract : Due to the rapid development of smart grid, smart substations are used in power systems, and the reliability of their relay protection systems directly affects the safe and stable operation of power systems. To this end, this article analyzes the characteristics of relay protection system in smart substations and explores the existing problems in the commissioning technology of relay protection. It also proposes a series of optimization strategies, including the optimization of commissioning, the improvement of commissioning tools, and the innovation of commissioning methods, etc. At the same time, fault diagnosis technology based on intelligent algorithms and online monitoring, such as networks and expert systems, is also studied and applied in the fault diagnosis of relay protection.

Keywords : smart substation; relay protection; commissioning technology optimization; fault diagnosis; intelligent algorithm; online monitoring

引言

智能变电站是智能电网的关键节点, 其也是实现电力系统智能化运行的重要基础。与传统变电站相比而言, 智能变电站采用了先进的数字化、网络化技术, 以此实现了信息的共享与交互, 有效地提高了电力系统的运行效率和可靠性。其中, 由于电力系统发生故障时, 继电保护装置能够迅速、准确地动作, 通过切除故障设备, 来防止故障的范围扩大, 达到减少停电损失的效果。因此继电保护系统是智能变电站的核心组成部分, 它承担着保障电力系统安全稳定运行的重要任务。

现阶段, 随着智能变电站技术的不断发展和设备的日益复杂, 继电保护调试技术和故障诊断面临着新的挑战。而且传统的继电保护调试方法和故障诊断手段已难以满足智能变电站的需求, 当中存在着调试效率低、诊断准确性差等问题。因此, 对于智能变电站继电保护调试技术进行优化, 以提高故障诊断的准确性和及时性, 具有非常重要的现实意义。只有优化调试技术, 才可以确保继电保护装置在投入运行前各项性能指标均符合要求, 以此提高装置的可靠性。而先进的故障诊断技术则能够在故障发生时, 快速地定位故障点, 助力故障处理时间的缩短, 进而降低对于电力系统运行的影响。

一、智能变电站继电保护系统特点

(一) 数字化与网络化

在传统的变电站当中, 电流、电压等模拟信号都是通过电缆传输至保护装置, 而智能变电站继电保护系统采用了数字化采样

和网络化通信技术, 所以在智能变电站中, 这些信号经电子式互感器能够转换为数字信号, 并通过基于 IEC61850 标准的通信网络进行传输。正是这种数字化与网络化的特点, 才减少了电缆的使用, 并降低了信号传输过程中的损耗和干扰, 直接地提高了信号的准确性和可靠性^[1]。同时, 网络化通信还实现了信息的共享, 使

得保护装置能够获取更多的信息，此举为保护动作的决策提供更为全面的依据。例如线路保护装置可以通过网络获取相邻线路保护装置的运行信息，以此实现保护的协同动作，有效地提高了保护的灵敏性和可靠性。

（二）功能集成化

智能变电站继电保护装置集成了多种功能，其不再像传统的保护装置那样功能单一^[2]。除了基本的保护功能之外，它还具备测量、控制、计量、故障录波等功能。而这种功能集成化的设计，减少了设备的数量，也就降低了变电站的建设成本和占地面积。集成化的功能则使得保护装置能够更好地实现与其他智能设备的协同工作，进而提高了变电站的自动化水平。如保护装置在检测到故障时，不仅能够快速地切除故障，还可以自动地记录故障波形，如此便为后续的故障分析和诊断提供详细的数据支持，并且还能够将测量数据实时地上传至监控系统，实现了对电力系统运行状态的实时监测。

（三）智能化程度高

由于智能变电站继电保护系统具备较高的智能化程度，因此它能够根据电力系统的运行状态和故障情况，自动地调整保护定值和动作特性，实现了自适应保护。举个例子，当系统的运行方式发生变化时，保护装置就可以通过对网络中传输的各种信息进行分析 and 处理，自动地调整保护的動作時限和靈敏度，有效地確保了保護的選擇性和可靠性^[3]。此外，智能保护装置还具备自检和互检功能，其能够实时地监测自身和其他相关设备的运行状态，确保能够及时地发现设备故障并发出报警信号，从而提高了设备的可维护性和运行可靠性。

二、现有继电保护调试技术存在的问题

（一）调试流程复杂

智能变电站继电保护系统当中涉及到了众多的设备和复杂的网络通信，所以它的调试流程相对传统变电站而言更为复杂^[4]。实际在调试的过程中，相关人员需要对电子式互感器、合并单元、保护装置、智能终端等多个设备进行逐一的调试，并且要确保它们之间的通信正常、功能协调。原因是设备之间的关联紧密，一个设备的调试可能会影响到其他设备，所以导致调试过程中要不断地进行反复调试和验证，而这增加了调试的工作量和时间成本^[5]。比如，在调试保护装置与合并单元之间的通信时，调试人员需要精确地配置通信参数。因为一旦参数设置出现错误，就会导致保护装置无法正确地接收采样数据，从而影响到保护功能的正常实现，并且还需要重新检查和调整参数，对其进行再次调试。

（二）调试工具落后

目前，许多智能变电站在进行继电保护调试时仍然采用着传统的调试工具，如万用表、继电保护测试仪等。虽然这些工具在一定程度上能够满足基本的调试需求，但对于智能变电站数字化、网络化的继电保护系统来说，还是存在着诸多的局限性。具体来说：传统的继电保护测试仪难以模拟复杂的网络通信环境和数字信号，它无法对基于 IEC61850 标准的通信功能进行全面、准

确的测试。而且这些工具大多为独立使用，当中缺乏了与其他设备的互联互通，它不能实现调试数据的自动采集和分析，使得调试效率低下，因此难以满足智能变电站大规模设备调试的需求^[6]。

（三）调试人员技术水平参差不齐

因为智能变电站继电保护技术涉及到了电力电子、计算机、通信等多个领域的知识，所以对于调试人员的技术水平要求较高。然而在目前的电力行业中，调试人员的技术水平参差不齐，存在部分调试人员对智能变电站的新技术、新设备的了解不够深入，自身缺乏数字化、网络化调试的经验。此时在调试的过程中，就可能会出现对于调试流程不熟悉、对设备参数设置错误等问题，影响到了调试的质量和进度。例如某位调试人员对 IEC61850 标准的理解不够透彻，那么在配置通信参数时他就容易出现错误，进而会导致设备之间通信异常，直接地增加了调试的难度和风险。

三、继电保护调试技术优化策略

（一）调试流程优化

为了提高智能变电站继电保护调试效率，相关人员需要对调试流程进行优化。首先需要建立标准化的调试流程，在其中明确各个调试环节的顺序和要求，并且减少不必要的重复操作。对此，相关人员可以将调试流程分为设备单体调试、系统联调、功能验证等多个阶段，然后在每个阶段都制定详细的调试方案和验收标准。比如在设备单体调试阶段，可以重点检查设备的基本功能和性能指标；系统联调阶段则主要验证设备之间的通信和协同工作能力；功能验证阶段通过模拟各种故障情况，来检验保护装置的动作准确性和可靠性。

其次相关人员可以采用并行调试的方法，即对于相互独立的设备和调试环节，可以同时进行调试，旨在缩短调试的周期。如在对不同间隔的保护装置进行调试时，就可以安排多个调试小组同时开展工作，从而提高调试的效率。此外，相关人员还可以利用自动化调试技术，积极地开发调试软件，促使调试过程的自动化控制和数据的自动采集、分析得以实现，这样能够减少人工干预，达到提高调试准确性和效率的目的。

（二）调试工具改进

在研发和应用适合智能变电站继电保护调试的新型工具时，一方面要注重开发基于数字化、网络化技术的继电保护测试仪^[7]。该测试仪应具备模拟 IEC61850 通信网络、生成各种数字信号的功能，以此才能能够对保护装置的通信功能、采样精度、保护逻辑等进行全面的测试。例如测试仪可以模拟合并单元输出不同格式和精度的数字采样值，以测试保护装置对于采样数据的处理能力；或者还可以模拟网络故障，进而测试保护装置在通信异常情况下的容错能力。

另一方面可以引入智能调试终端，从而实现调试工具与智能变电站设备之间的互联互通。由于智能调试终端可以通过网络与保护装置、智能终端等设备进行通信，他能够实时地获取设备的运行状态和调试数据，并且将调试结果反馈给调试人员。同时智

能调试终端还可以与调试软件相结合，进而实现调试过程的远程控制

（三）调试方法创新

对于相关人员而言，想要提高调试的准确性和效率，离不开积极地探索和应用新的调试方法^[8]。例如采用基于模型的调试方法，即利用智能变电站的系统模型，对于继电保护系统进行仿真调试。而在仿真环境中，将可以模拟各种正常和故障运行工况，使其能够提前发现设计和配置中存在的问题，在此基础上再优化保护方案。另外，相关人员还可以引入人工智能技术，如机器学习算法，借此对调试数据进行分析

四、继电保护故障诊断技术研究

（一）基于神经网络的故障诊断

人工神经网络具有强大的非线性映射能力和自学习能力，它能够处理复杂的故障信息，因此在智能变电站继电保护故障诊断中具有广泛的应用前景。其原理是采集继电保护装置的动作信息、故障录波数据、设备状态监测数据等作为神经网络的输入，此时经过训练后的神经网络就可以根据输入数据快速判断故障类型和故障位置^[9]。

举例而言，采用多层感知器（MLP）神经网络，即可将故障时的电流、电压波形特征、保护装置的动作信号等作为输入层节点，再故障类型和故障位置作为输出层节点，并使用大量的历史故障数据对神经网络进行训练，使其学习到故障特征与故障类型、位置之间的映射关系。之后当电力系统发生故障时，将实时采集的数据输入到训练好的神经网络中，便能够快速得出故障的诊断结果。

（二）基于专家系统的故障诊断

专家系统是将领域专家的知识

后得出故障诊断结论。它是一种基于知识的智能系统，如果在智能变电站继电保护故障诊断中应用，就需要收集大量的继电保护知识、故障案例和运行经验建立起专家系统，提前构建一个完善的知识库。然后当系统发生故障时，专家系统便会根据保护装置的动作顺序、故障前后的电气量变化等采集到的故障信息，即刻在知识库中进行搜索和匹配，再经由推理机进行逻辑推理，最终便能够给出故障的诊断结果和处理建议。

（三）在线监测与故障预警

基于现状而言，利用在线监测技术，实时地监测继电保护装置及相关设备的运行状态，是相关人员实现故障诊断和预警的重要手段^[10]。为此需要通过安装各种传感器，如电流传感器、电压传感器、温度传感器等，对于设备的电气参数、温度、振动等状态信息进行实时地采集。接着将采集到的数据传输至监测系统，再利用数据分析算法对数据进行处理和分析，以此判断设备是否存在异常的情况。如果监测到设备状态参数超出正常范围时，系统就会及时地发出预警信号，提醒运维人员对其进行检查和处理，进而实现了故障的早期发现和预防。

五、结束语

智能变电站继电保护调试技术的优化和故障诊断，对于保障电力系统的安全稳定运行而言是至关重要的。本文通过分析智能变电站继电保护系统的特点，指出了现有调试技术当中存在的问题，并且提出了调试流程优化、调试工具改进和调试方法创新等相应的优化策略，同时还研究了基于神经网络、专家系统等智能算法的故障诊断技术以及在线监测与故障预警技术。相信通过上述这些技术的应用和推广，就能够有效地提高智能变电站继电保护调试的效率和准确性，在增强故障诊断能力的基础上，降低电力系统故障发生的概率，并且缩短故障的处理时间。然而随着智能电网技术的不断发展，智能变电站继电保护技术也将持续更新，未来还需要不断探索和研究新的调试技术和故障诊断方法，以适应电力系统发展的需求，推动智能电网的进一步发展和完善。

参考文献

[1] 马天晓. 智能变电站继电保护检测和调试技术研究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(22): 90-92. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2406-5042-5791.

[2] 谷子健, 孙畅岑, 李献澜. 基于人工智能技术的继电保护故障诊断技术研究 [J]. 光源与照明, 2025, (02): 103-105.

[3] 袁春雷. 智能变电站继电保护调试技术研究 [J]. 消费电子, 2025, (02): 128-130.

[4] 刘秀丽. 智能变电站继电保护调试技术研究 [J]. 光源与照明, 2025, (02): 198-200.

[5] 佐松阳, 孙翻栋. 智能变电站在线监测与故障诊断技术在继电保护二次回路中的应用 [J]. 光源与照明, 2025, (03): 108-110.

[6] 张驰, 谢民, 刘宏君, 等. 基于语义网的智能站继电保护隐性故障辨识诊断技术研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14): 95-101. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181155.

[7] 武凯. 发电厂继电保护装置的故障诊断与智能预警研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (20): 89-91.

[8] 宗志亚. 基于扰动激励的智能变电站继电保护故障诊断关键技术 [J]. 电测与仪表, 2019, 56(21): 63-69. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2019.021.011.

[9] 朱婧瑶. 智能变电站继电保护隐性故障诊断与系统重构方法 [J]. 科学与信息化, 2022, (21): 131-133.

[10] 陈忠文. 电力系统中的继电保护装置故障分析与智能诊断技术研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(S01): 345-348. DOI: 10.19769/j.zdhy.2024.S1.114.