

AI 智能联动保护技术在 6KV 开关柜升级改造中的适配性研究

刘嵩, 汤明瑞

辽宁大唐国际新能源有限公司锦州热电分公司, 辽宁 锦州 121000

DOI: 10.61369/TACS.2025110045

摘 要 : 6KV 开关柜作为电力系统配网环节的核心设备, 其运行稳定性直接关系到电力供应的安全性及可靠性。随着电力负荷的持续增长及智能电网建设的推进, 传统 6KV 开关柜在保护精度、响应速度及联动协同能力等方面的不足逐渐凸显, 升级改造需求迫切。AI 智能联动保护技术凭借其数据处理的智能化、保护策略的自适应化及设备间的协同化优势, 为开关柜升级改造提供了全新解决方案。本文以 6KV 开关柜升级改造为研究背景, 从技术适配性角度出发, 探讨 AI 智能联动保护技术在开关柜中的应用逻辑, 分析其在硬件接口、软件协议、运行环境等方面的适配要求。以期通过科学的适配设计可有效提升开关柜的保护性能与智能化水平, 为电力系统配网环节的智能化升级提供参考。

关 键 词 : AI 智能联动保护; 6KV 开关柜; 升级改造; 适配性

Research on the Adaptability of AI Intelligent Linkage Protection Technology in the Upgrading and Transformation of 6KV Switchgear

Liu Song, Tang Mingrui

Jinzhou Thermal Power Branch of Liaoning Datang International New Energy Co., Ltd., Jinzhou, Liaoning 121000

Abstract : As the core equipment in the distribution network link of the power system, the operational stability of 6KV switchgear is directly related to the safety and reliability of power supply. With the continuous growth of power load and the advancement of intelligent power grid construction, the shortcomings of traditional 6KV switchgear in terms of protection accuracy, response speed, and linkage coordination capability have gradually become prominent, resulting in an urgent demand for upgrading and transformation. AI intelligent linkage protection technology, relying on its advantages of intelligent data processing, adaptive protection strategies, and coordination between equipment, provides a new solution for the upgrading and transformation of switchgear. Taking the upgrading and transformation of 6KV switchgear as the research background, this paper explores the application logic of AI intelligent linkage protection technology in switchgear from the perspective of technical adaptability, and analyzes its adaptability requirements in terms of hardware interfaces, software protocols, and operating environments. It is expected that scientific adaptability design can effectively improve the protection performance and intelligence level of switchgear, and provide reference for the intelligent upgrading of the distribution network link in the power system.

Keywords : AI intelligent linkage protection; 6KV switchgear; upgrading and transformation; adaptability

配电网是连接电源侧与用户侧的关键纽带之一, 在保障供配电安全可靠运行方面扮演着重要角色^[1]。其中, 6KV 开关柜广泛应用于配电网中的各个环节并承担着重要的责任。近些年, 由于经济发展及新能源的大规模使用导致配电网面临越来越复杂的外部环境, 而传统 6KV 开关柜在继电保护上存在逻辑固化程度较高、响应速度较慢、联动性较差等特点, 同时依靠人工巡检, 存在故障处置效率低、预警不及时等问题, 升级改造需求迫切。而近年来 AI 智能联动保护技术因其具备的数据采集分析、自适应保护、协同联动的优势成为电力设备升级的核心方向之一, 能够有效提高对开关柜运行的监控及故障处置的能力^[2]。因此, 开展其在 6KV 开关柜升级改造中的适配性研究, 明确要求、优化方案, 对推动技术应用、提升改造质量具有重要现实意义。

一、AI 智能联动保护技术的优势

一是正确性及全面性。传统继电保护装置使用固定的门限值

和逻辑判断故障的方式, 容易受系统谐波、负荷变化影响, 有发生故障误动、拒动的可能; AI 智能联动保护则是用多源信息综合分析以及 AI 的深度学习将上述干扰信号滤除, 精准诊断故障特

征,不仅可有效辨识短路、过载、漏电等常见故障,还可对局部放电、绝缘老化等隐性故障实现提前预警,显著提高故障辨识的完整性及准确性^[3]。

二是装置联动的快速性和智能化程度高。现有6KV开关柜基本处于单机工作模式,各装置之间缺乏有效联动协作,在发生故障的时候往往依靠人工进行联动操作,费时费力。AI智能联动保护方案通过设定共同的数据接口及通讯方式,将开关柜同配电网中的其他装置以及远程监视室实现联动协作,可以制定出全局性的故障处理方式,大大提高了故障处理速度;同时具有自我学习能力,可以通过长时间的运行记录来对分析模型及保护策略进行自我完善,不断提高设备的智能性^[4]。

二、6KV开关柜升级改造的核心需求

(一)提升保护性能的需求

随着配网系统负荷的增长以及新能源电能的接入,6KV开关柜的运行工况逐渐变得复杂化,短路电流、过载电流等故障发生的几率也随之增加,这无疑增加了开关柜的保护难度。传统的开关柜保护装置由于自身的限制,其反应速度比较缓慢、保护精准度较低、抗干扰能力较差,无法适应复杂的运行工况以应对故障处理的需求。因此,在升级改造中,首先就要保证开关柜的故障判别准确性和保护动作迅速性,使其在出现故障后能及时、准确地切除故障回路,防止故障进一步扩大,从而保证配网系统正常运作;其次还要提高保护设备的抗干扰性能,减少因电网中的谐波以及电磁干扰等情况对保护作用造成的不良影响,提高保护工作的可靠性^[5]。

(二)增强智能化水平的需求

智能电网的发展需求对配网设备的智能化水平提出了明确的要求。传统的6KV开关柜缺少有效状态监测及数据交互手段,不能实现开关柜运行状态的实时监控及远程管理,智能化水平较低,在改造升级过程中需通过引入智能化技术,实现对开关柜运行状态的全面监测、数据的实时采集及传输、故障的自动诊断及预警,提高装置运作的智能性。与此同时,还应将开关柜同配电网调控系统以及监控室进行连接,并能够实施远程操作及统一调配工作,为配电网络系统开展科学化管理奠定基础^[6]。

三、AI智能联动保护技术在6KV开关柜升级改造中的适配性关键点

(一)硬件接口适配

硬件接口适配是AI智能联动保护技术与6KV开关柜实现物理连接的基础,核心涵盖传感设备、执行设备及通信接口三大适配方向。

传感设备接口适配,在传感设备接入过程中应考虑其与开关柜原有设备接口的适配性,传统6KV开关柜设备接口主要为模拟量接口,而AI系统传感设备则大多为数字量接口,在改造升级的过程中还需增加信号转换单元进行量纲精确变换,保证信息采集

的有效性;此外还应当结合开关柜内可用空间对传感设备的安装方式进行合理规划,不影响其他设备正常使用。

执行设备接口适配针对断路器、隔离开关等设备进行控制接口适配工作。由于各型号执行设备接口类型、电压等级不一,需根据设备参数对执行设备接口模块进行选型适配,以保证控制指令正确下发及执行;同时还需要通过增加防雷、防电磁干扰装置提高接口抗干扰能力,保证控制信号传送的稳定性。

通信接口匹配应符合目前配网通信系统的标准,完成与配网系统以及监控中心的数据交换功能。目前配网中常用的接口为RS485、以太网等标准,需要根据这些标准选用相应的通信模块,并保证能够顺利完成数据的传输工作;此外还需要考虑通信的带宽以及速度是否能满足大量运行数据的传输要求^[7]。

(二)软件协议适配

软件协议适配是实现系统间数据交互与协同运行的核心,主要涉及数据采集、通信及控制三类协议的适配协调。

协议匹配及数据采集:由于各类传感器的数据输出协议不统一,传统的开关柜监测装置往往使用私有协议进行数据通信;人工智能算法主要基于Modbus、DL/T 645协议,因此需要借助相应的协议转换程序,以便于信息正确接收并转译。

协议兼容方面按照配网系统的统一标准进行设计,保证交互过程的顺利性和安全性。目前配网常用的IEC 61850、TCP/IP等协议,其中IEC 61850协议具有较好的互通能力,因此AI系统通信协议应统一为上述的标准协议。此外,在数据传输过程中使用加密算法来防止信息的泄露及被非法篡改,提高信息传递的安全性^[8]。

控制协议匹配,保证指令被正确执行设备接收到。不同的厂家执行设备的控制协议不完全相同,需要仔细分析其协议规定,并利用软件编程进行指令控制协议转化工作,以保证指令的准确性和及时性;同时还要对协议进行容错处理,当出现协议解析出错情况的时候能够自动报警提示采取应对方案来保护设备的安全。

(三)运行环境适配

由于6KV开关柜所处环境不同,温度、湿度、电磁干扰、灰尘浓度都不一样,所以针对不同的情况应采用不同的AI智能联动保护技术来确保其正常运行^[9]。

温湿度匹配,6KV开关柜用于工业车间及户外变电站等地,其工作温度为-20℃~60℃,相对湿度高达95%以上,在电路设计中应使用耐高温、潮湿的电子元器件,并设置温、湿度控制器,随时检测、调节柜体内部环境,以保证设备能在恶劣环境下正常工作。

电磁兼容是指开关柜在使用过程中以及周围其他电气设备发出的电磁波对系统的干扰,因此可以采取电磁屏蔽的方式将电路板或者通讯线等进行隔离,并通过对电路的设计提高其抗干扰的能力,以确保数据分析和采集的有效性。

适合粉尘及腐蚀环境的应用对于一些特殊行业如煤矿、化工厂等,在这些场所使用AI系统设备需要对其外壳做好防腐蚀、防尘工作,选用密封较好的设备类型,并定时清洁,保证其能够适

应粉尘以及具有腐蚀性的气体环境下的长时间应用。

（四）保护策略适配

保护策略适配需结合开关柜负载特性、故障类型、运行场景等因素优化调整，确保满足不同工况下的保护需求。

适应不同的负载特征。在工业变电所中，由于工业企业的开关柜上经常会出现负载变化大的情况，在这种情况下就需要通过人工智能技术实现对过载电流设置值进行及时的调节，从而防止不必要的保护动作出现；而针对一些新能源发电厂中的开关柜来说，则会出现连续性的冲击负载现象，此时为了能够更好地处理这些突发状况，就要提升对短路故障的保护能力，以便于第一时间消除其带来的危害影响。

故障类型匹配即对不同的故障特性采取针对性措施。对于如短路这类严重故障，则采用快速跳闸策略来达到尽快切除故障的目的；而对于如局放、绝缘劣化这类隐患故障则采取预警告警策略进行提前告警通知检修处理，避免发展成恶性事故。

运行场景适配需兼顾不同环境运行要求。户外变电站开关柜需增设防雷、低温启动保护功能应对恶劣环境；新能源电站开关柜须具备与光伏、风电等间歇性电源的协同保护能力，保障电网与新能源电源稳定运行。

四、AI 智能联动保护技术适配性优化措施

AI 智能联动保护技术适配性优化需从前期设计、设备选型、调试优化及运维保障四方面推进^[10]。前期适配设计需在升级改造前，通过现场勘查、设备检测全面调研6KV 开关柜运行现状、设备参数及配网系统要求，明确型号规格、接口类型等基础信息与核心需求，据此制定适配设计方案，明确接口转换、协议兼容

等关键内容，并借助仿真分析模拟不同工况，提前排查隐患优化方案。设备选型需结合设计方案与实际需求，优先选择接口标准化、抗干扰强、适配宽温湿度的传感设备，接口匹配、控制精准的执行设备，以及支持标准通信协议、传输高效的通信设备，同时优选兼容性与扩展性佳的产品预留升级空间，严格审核厂家资质与产品质量。调试优化环节需完成硬件接口、软件协议、保护策略及系统联调，依次检查设备连接与信号传输稳定性，通过升级或转换协议解决兼容问题，模拟故障工况调整保护阈值与动作逻辑，测试系统与配网调度、监控中心的协同效果。运维保障方面，需建立专业运维团队并强化技术培训，提升人员操作与故障排查能力；建立常态化运维制度，定期检查维护硬件、软件及运行数据；搭建数据追溯分析机制，通过持续监测预判隐患；加强与设备厂家合作，建立快速响应机制，确保复杂问题及时获得技术支持，保障技术长期稳定适配运行。

五、结束语

综上所述，AI 智能联动保护技术识别故障精准、隔离快速等特点契合了6KV 开关柜改造的核心需求，具有较高推广使用价值。其适用性宜结合接口兼容性、通信一致性、系统适配性、整定灵活度等因素在强化前期策划、合理配置、试验校验及后期维护上下功夫，能较好地提高匹配度。未来，随着 AI 与电力技术深度融合，应进一步探索大数据、云计算支撑的动态适配技术，推动与数字孪生技术结合以优化改造质量，同时完善行业标准，规范适配要求，助力技术标准化规模化应用，为配网智能化升级提供更强支撑。

参考文献

[1] 张泽彬, 林培亮, 黄学禹, 等. 开关柜智能一体化集中操控装置研究及应用前景探讨 [J]. 中国设备工程, 2024, (S1): 29–30.

[2] 黄波. 可视化三工位隔离开关柜智能配电系统配置与应用研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (02): 1–3.

[3] 李峰. 核电厂智能型开关柜和智能专家诊断系统的应用分析 [J]. 科技与创新, 2024, (22): 64–66+70.

[4] 张明达, 王思谨, 袁哲峰, 等. 基于大数据的开关柜远程智能诊断技术研究 [J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(10): 158–161.

[5] 刘建广. AI 时代对 10KV 开关柜智能化改进的途径探索 [J]. 机电元件, 2024, 44(03): 62–64.

[6] 张永起, 姚昀辰, 刘红, 等. 电气成套开关柜的设计与智能优化分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(05): 345–347.

[7] 邱舵, 庞杰锋, 郭魏凯. 基于图像识别和物联网技术的开关柜智能终端研究 [J]. 电工技术, 2024, (09): 142–145.

[8] 王钊, 王洪信, 温彦文, 等. 高压开关柜智能检修机器人关键技术研究 [J]. 科技创新与生产力, 2024, 45(04): 110–113.

[9] 林明瑞. 智能变电站中压开关柜智能化改进研究 [J]. 光源与照明, 2023, (12): 156–158.

[10] 王勇, 李慧. 10 千伏智能开关柜的设计与应用 [J]. 中国电力企业管理, 2023, (33): 90–91.