

新型电力系统继电保护中自动化技术应用

文 / 张 福 华润新能源（甘肃）有限公司

摘要：随着新型电力系统向高比例可再生能源、高弹性、高互动化方向转型，传统继电保护面临故障特性复杂、保护配合困难等挑战。自动化技术凭借实时数据采集、智能决策与快速响应能力，成为新型电力系统继电保护升级的关键支撑。本文对继电保护自动化技术展开研究，分析了继电保护自动化关键技术原理和功能定位，阐述了继电保护自动化技术在新型电力系统中的应用方法，并提出继电保护自动化技术应用建议，旨在提升继电保护的适应性与可靠性，增强新型电力系统的稳定性。

关键词：新型电力系统；继电保护；自动化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.077

引言

继电保护自动化技术在电力行业应用广泛，已经逐步取代了传统的继电保护技术，成为新型电力系统的重要基础，强化保护性能、适应复杂多变运行状态、缩短故障平均持续时间有重要的意义。尽管自动化技术在继电保护领域展现出巨大潜力，但在新型电力系统中的应用仍面临诸多挑战，通信网络延时可能影响保护动作时效性，多源数据融合分析存在算法精度不足问题，开放互联的系统架构也带来网络攻击风险。因此，深入研究自动化技术在新型电力系统继电保护中的应用，探索技术创新与工程实践的融合路径，对保障电网安全稳定运行、支撑能源转型战略具有重要意义。

一、继电保护自动化关键技术

（一）智能终端

智能终端装置集测控、保护功能于一体，既能精准掌握保护对象运行过程，又能判定实际保护需求，执行最优保护策略，保护动作准确度、灵敏度和时效性，远强于传统继电保护装置，自行完成各项保护任务。智能终端装置和传统继电保护装置的主要区别在于，传统装置利用硬件电路执行运算任务、确定保护逻辑，外部环境一旦发生变化，无法自行调整保护策略，拒动与误动问题频发。智能终端装置采取数字化、软件化模式进行设计，本身具备强大逻辑分析能力，可以充分适应新型电力系统复杂多变的运行工况及保护需求^[1]。同时，智能终端装置还支持后台集中控制功能，现场智能终端和远程主站保持数据双向共享状态，现场采样数据提交给系统后台统一分析，从全局角度出发，客观评判电力系统运行形势，确定继电保护需求，所执行保护动作，既能解决保护对象故障问题，又能改善电力系统整体运行状态。

（二）故障诊断算法

新型电力系统故障类型多，包括短路故障、过载故障、断线故障、接地故障、电压异常故障等，故障机理复杂，不同类型、危害程度故障的形成原因、表现形式和保护需求存在差异。传统继电保护技术存在灵敏性差的局限性，主要依赖少数几项保护定值来展开动作，未能准确了解故障情况与针对性展开保护动作，实际所起保护效果不够理想。继电保护自动化技术以故障诊断算法为核

心手段，把历史故障数据为样本，组织机器学习算法训练，提取故障特征量，总结故障规律，建立故障模型库。新型电力系统运行过程中，变压器等保护对象出现故障问题后，采样值超出保护定值，识别故障隐患，从故障数据类提取特征值，模型库内匹配故障模式，确定故障类型、了解故障原因，并锁定故障位置，把故障诊断报告作为依据，针对性制定继电保护方案。

（三）智能决策

智能决策是在智能算法支持下，继电保护系统一定程度的自主决策能力，全面感知新型电力系统运行态势，按照专家知识经验，提前察觉异常问题与故障隐患，判定现有继电保护方案是否具备可行性，自行调整继电保护策略，最短时间内解决故障问题，理想情况下，还能把故障隐患消弭于无形，预防设备线路故障问题发生。例如，自动化继电保护系统具备状态预测功能，提前构建变压器等重要电力设备的故障预测模型，总结故障规律，预测保护对象未来短时间运行趋势，提前找出可能出现的故障问题，提前展开保护动作，调整保护对象运行模式，预防故障出现。传统继电保护技术仅能被动解决故障，故障存在期间，造成电网震荡、设备受损在内的实质性损失，继电保护自动化技术可以预防一部分故障，提高新型电力系统的稳定程度^[2]。

二、继电保护自动化技术在新型电力系统中的应用方法

（一）继电保护装置自动化改造

传统继电保护装置欠缺自动化功能，无法感知保护需求和自动调整保护策略，频频出现保护需求、保护策略冲突问题，这也是继电保护装置拒动/误动和电力系统整体故障率居高不下的根本原因。继电保护自动化技术应用阶段，传统继电保护装置未能满足保护需求，必须对现有装置进行全方位自动化升级改造，增设遥信、遥控、遥测等功能，遥信功能是远程实时上传采样数据和接收控制指令，遥控功能是由系统后台统一控制现场继电保护装置与配套装置展开动作，遥测功能是在线监测保护对象运行过程。同时，把新型电力系统内的重要设备配套继电保护装置，列为自动化改造对象，包含中心开关站、专用配电站、用户专线分界开关、环网分接箱、电缆分接箱等，掌握保护需求，制定专项改造方案。

面向中心开关站,建设自动化子站,采取光纤通信方式,保持自动化子站、自动化主站双向通信状态,选择数字式继电保护装置,全部开关柜内均部署继电保护装置,实现电压保护功能与电流保护功能,自动化子站具备监测、配电管理、故障隔离等功能^[3]。面向专用配电站,各类开关柜内部配置数字式继电保护装置,继电保护装置接入自动化子站,即可实现改造目标,开关柜型号老旧、缺少改造条件的情况下,则把继电保护控制权限提交给中心开关站,同样可以实现远动保护功能。面向用户专线分界开关,多为供电量大的工业用户,选用具备FTU馈线终端单元的新型继电保护装置,如在用户支线T节点位置部署智能柱上真空断路器,以电压/电流保护作为保护内容,必须具备遥信、遥测、遥控三项基础功能。面向环网分接箱,选择拥有自投功能的新型自动开关柜,全面替换老旧型号环网出线柜,自动开关柜可以全程监控线路电压变化情况,精准执行投切工作,故障线路隔离期间转移负荷。而面向电缆分接箱,部署新型智能电

缆分接箱子,开关柜内部署数字式继电保护装置,继电保护装置接入自动化子站,实现电压电流保护功能。

(二) 通信系统升级改造

通信系统是新型电力系统继电保护自动化体系的中枢神经,将自动化主站、自动化子站和智能终端装置组成完整结构,实时上传采样数据与下达控制指令,做到对新型电力系统运行过程的全面监控,可靠执行各项保护动作。对于传统电力系统升级形成的新型电力系统,原有通信系统并不能满足继电保护通信需求,通信质量与可靠程度偏低。因此,继电保护自动化技术应用期间,必须同步对通信系统加以升级改造,优先采取光纤通信方式,通信网络拓扑结构如图1所示,电力系统内分散部署多台电缆分接箱和分段开关终端,二者都应具备继电保护自动化功能。如果继电保护终端所处区域远离电力系统中心,为控制改造成本,可选择采取无线公共网络通信方式,以支线分段柱上开关、环网柜、用户快速分界开关、末端开闭站作为无线接入终端种类^[4]。

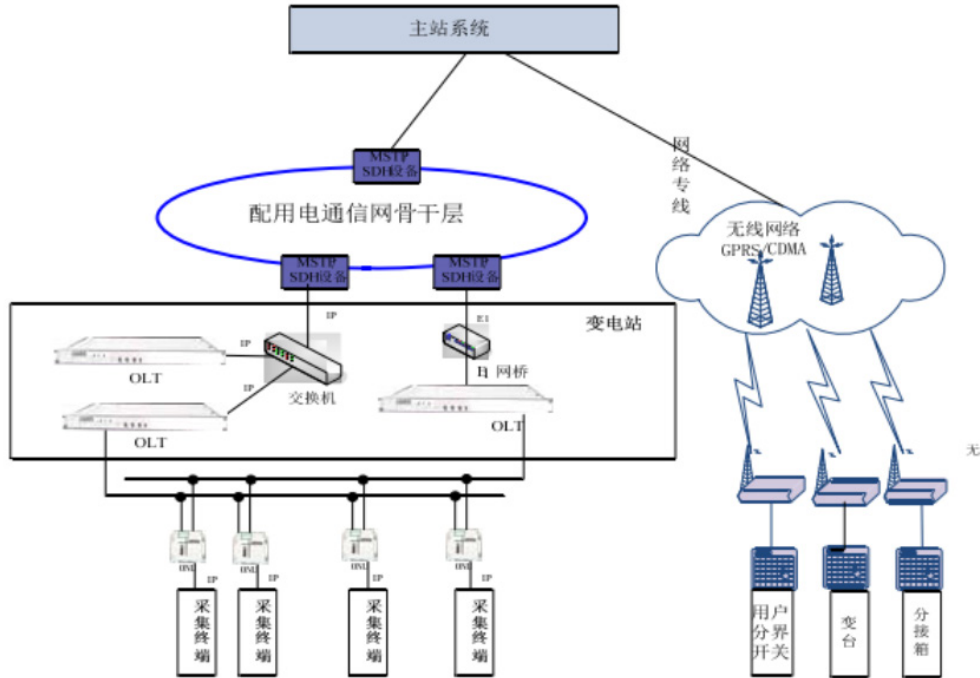


图1 通信网络拓扑结构

(三) 备用电源自投

新型电力系统有着结构复杂、运行波动的特征,运行可靠程度略低于传统电力系统,无论是分布式能源出力状况剧烈波动,还是重要线路设备故障失效,都可能导致工作电源断开,局部区域出现停电现象,常规继电保护手段无法解决此项问题,未能在短时间内恢复供电。对此,需要把备用电源自投作为继电保护自动化系统的核心功能,加装自投装置,确认主电源故障断开后,限时投入备用电源。备用电源自投技术应用阶段,关注充放电条件、自投顺序两项问题。对于充放电条件问题,以母线三相电压、进线断路器与分段断路器工作状态,作为充电判定规则,确认母线三相存在电压,进线断路器保持合位状态,分段断路器保持分位状态后,执行充

电动作,后续在母线三相无电压、接收外部闭锁信号、断路器拒跳和分段断路器合闸情况下,执行放电动作^[5]。对于自投顺序问题,即为备用电源自投装置动作顺序,确认工作电源处于异常状态后,立即启动自投装置,投入备用电源,跟踪监控各段母线运行过程,I段母线无电压电流、II段母线存在电压时,延时跳开I段进线断路器,继续延时闭合分段断路器,如果中途发生拒动、跳闸现象,系统判定备用电源自投动作失效,取消分段断路器二次合闸动作,确保故障范围不会扩大。

(四) 自适应保护

新型电力系统复杂多变的运行状态,和传统继电保护技术僵化呆板的保护策略,是实际保护性能不足以保证电力系统平稳运行的根本原因,也是继电保护自动化

技术的核心应用需求。具体来讲,新型电力系统运行状态受到多重因素影响,不同时刻下的系统状态及保护需求有着显著差别。传统继电保护模式下,手动设定保护定值,保护定值调整周期较长,如果电力系统运行工况偏离预期,当前设定保护定值并不符合设备线路保护需求,系统正常运行过程中错误展开保护动作,致使电力系统运行效率下滑,或是故障问题出现后未能及时执行保护策略,导致故障持续时间延长、受损程度加剧。对此,应以自适应保护作为继电保护自动化技术应用目标,具体理解为增设在线整定功能,继电保护系统定时评估保护需求,重新计算并实时调整保护定值,长期保持电力系统运行工况和继电保护策略的匹配状态。自适应保护技术应用阶段,重点关注在线整定计算规则,按照电力系统运行特性和继电保护方式,设定各项继电保护定值的计算规则,并通过调试检查手段,验证在线整定效果是否达到预期。例如,对于距离保护整定规则,根据I段母线80%长度,设置快速距离阻抗保护定值,线路长度与突变量距离灵敏度正向分布,根据历史继电保护数据,估算零序电抗/零序电阻补偿系数。如果电力系统采取双回线路方案,还应额外考虑邻线运行过程,对继电保护装置动作精度造成的影响,制定邻线零序电流补偿方案,实时测量各回路开关位置数据,同步接收接地刀闸信号,按照邻线状态,调整距离I段保护定值。

(五) 操作防误

新型电力系统结构复杂程度远超传统电力系统,从继电保护角度来看,面临保护范围大、保护对象众多的特征,自动化控制与手动控制期间,都有可能出现错误操作情况。对此,应额外建立操作防误机制,系统综合分析多项因素,判定暂定保护策略是否满足实际保护需求,确定较高概率出现错误操作现象,或是预估保护效果未达到预期要求后,驳回保护策略。例如,针对软压板防误问题,以电力系统一次设备处于正常运行模式、目标软压板非SV接收软压板,作为错误操作判定规则,继电保护装置无法展开软压板投退动作,同步发送报警信号。确认一次设备保持停电模式,且目标软压板身份确认无误后,才能正常展开软压板投退动作。

三、新型电力系统继电保护自动化技术的应用建议

(一) 冗余配置

相比传统继电保护技术,继电保护自动化技术可以全程精准掌握电力系统运行情况,及时执行保护策略,总体保护效果得到显著增强。但从继电保护装置可靠性角度来看,继电保护装置和配套智能终端装置有着结构复杂、精密的特点,新增大量电子元件,元件逐渐老化,外部环境影响下,加快老化速度,容易导致继电保护装置故障失效。因此,为同时兼顾继电保护动作精度与可靠性,以冗余配置作为技术应用方向。简单来讲,双重化部署继电保护装置,取代单一部署方案,同时配置不少于2套的继电保护装置,各套装置互为备用,1套继电保护装置失效期间,备用继电保护装置正常使用。例如,面向交流电压回路冗余保护方案,双位置部署继电器,构成重动回路,双重化部署直流电源与重动回路,2

台重动继电器并联接入电压回路,如果中途出现单一电源消失问题,或是单台继电器故障受损,并不会丧失交流电压。

(二) 提高保护精度

为持续提升保护精度,需构建常态化的智能算法优化机制。一方面,可建立包含海量历史故障数据、保护动作记录及系统运行参数的数据库,以10万+级的历史继电保护数据作为训练样本,通过模拟短路、过载、接地等3000余种典型故障场景,结合强化学习技术动态调整算法参数,系统分析保护策略制定与动作执行中的薄弱环节。另一方面,应加快继电保护装置的技术迭代,优先选用采样精度达24位、响应速度 $< 1\text{ms}$ 的电子式与微机式继电保护装置。此类装置凭借数字信号处理优势,较电磁式装置的动作误差缩小90%,能显著提升故障定位与动作执行的准确性,为新型电力系统安全运行提供更可靠的技术保障。

(三) 抗干扰改造

新型电力系统现场环境条件复杂,密集摆放各类电力设备,存在诸多干扰因素,电流电压瞬变区域均存在干扰源,主要干扰源包括继电器开合、电机运转、集成电路开关工作。继电保护装置在外部环境影响下,保护精度与可靠程度略有下滑。同时,继电保护自动化技术以集成控制为准则,汇总分析现场采样数据,制定最优保护策略,数据上传、指令下达期间,通信过程受到干扰,因信号丢失、失真而对保护效果造成影响。对此,应把抗干扰改造,作为技术改进方向,采取滤波抑制、串联高频电缆电容、限制一次设备接地电阻、重动继电器连接等技术措施。以滤波抑制措施为例,用于解决继电保护系统电磁干扰问题,部署滤波器作为抗干扰设备,滤波器安装在电源入口位置,通过滤波环节来消除共模/差模干扰问题,减轻电磁干扰程度,为继电保护装置提供良好运行环境。滤波器部署就位后,检测实际所起屏蔽效能是否达标。

结语

综上所述,自动化是继电保护技术必然发展趋势,同时,也是构建新型电力系统的一项关键举措,直接关乎电力系统安全系数和稳定程度。电力企业应把大力推广继电保护自动化技术,作为现阶段工作重心,对现有继电保护系统进行全方位升级改造,提升电力系统运行的稳定性与安全性。

参考文献

- [1] 刘庚源. 新型电力系统继电保护中自动化技术的应用[J]. 电工技术, 2024, (S2): 660-661+664.
- [2] 刘思伟. 电力系统中继电保护自动化技术应用分析[J]. 光源与照明, 2024, (12): 168-170.
- [3] 陈龙. 电力系统中继电保护自动化技术的应用研究[J]. 科技资讯, 2025, (03): 90-92.
- [4] 王丹阳, 朱秋萍. 继电保护自动化技术在电力系统中的应用研究[J]. 光源与照明, 2024, (05): 141-143.
- [5] 刘美希. 继电保护自动化技术在电力系统中的应用研究[J]. 光源与照明, 2024, (03): 201-203.