

继电保护技术在智能电网中的应用探讨

文 / 张 福 华润新能源（甘肃）有限公司

摘要：智能电网作为新一代电力系统，集成了先进的信息技术、通信技术与电力技术，旨在实现电力系统的高效、安全、可靠与绿色运行。继电保护作为智能电网重要组成部分，继电保护效果和智能电网可靠程度及供电质量密切相关，也是保障智能电网安全运行的关键手段。鉴于此，本文分析了继电保护技术在智能电网中的应用定位，详细阐述继电保护技术的应用方法，旨在提升智能电网的故障处理效率与运行可靠性，推动电网智能化升级。

关键词：智能电网；继电保护；线路保护；变压器保护

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.086

引言

现阶段，我国电力行业处在转型升级关键时期，利用先进控制技术、决策支持系统与传感测量技术，打造完全自动化的电力传输网络，即为新一代智能电网，全面监控电网运行过程，电网运行效率、供电质量得到显著提升。然而，智能电网和传统电网的运行模式有着本质区别，继电保护形势及需求发生变化，固有继电保护方案，难以支撑智能电网平稳运行。因此，要深入探讨继电保护技术在智能电网中的应用，应用新技术实现实时监控与控制，提高电网自愈能力和抗扰动能力，推动智能电网高质量发展。

一、继电保护技术在智能电网中的应用定位

（一）故障检测隔离

智能电网内的变压器、母线等重要电网设备线路处，均部署专用继电保护装置，实时监测保护对象运行状态，自行比对测量值和预设警戒值，判定保护对象运行状态异常，或是测量值超出警戒值后，触发保护机制，继电保护装置迅速展开动作，切除故障区段^[1]。结合实际情况来看，除去继电保护装置故障失效、监测精度下滑等极端情况外，可以在规定时限内准确检测出短路、过载等各类故障问题，迅速隔离故障区段和正常区段，控制故障范围，智能电网整体运行工况几乎不受影响，避免因故障问题不受控制，最终引起电网停电事件。例如，面向大型电力设备，部署差动保护装置提供继电保护，保护对象两端定时检测电流值，以两端电流差值大于阈值，作为触发保护条件，准确处理内部故障问题，如果出现外部故障，保护对象两端电流不会出现严重失衡问题，差动保护装置不会错误展开动作。

（二）自我修复

自我修复也可理解为故障自愈，智能电网出现暂时性故障时，无需人工干预，继电保护系统自行解决故障问题，以故障诊断、故障定位、故障切除、重新投运作为自我修复流程，短时间内彻底解决暂时性故障，恢复保护对象正常运行状态。而在智能电网出现永久性故障时，暂时切除和重新投运故障部分，并不能有效解决故障问题，必须开展现场抢修作业，必要时更换全新电网设备，继电保护技术应以降低故障影响，作为应用定位，

采取先进控制技术，系统后台植入智能算法，根据故障诊断报告和电网实时负荷数据，自行制定故障修复方案，隔离故障区段，把故障区段负荷转移给其他正常区段，规划合环路径，满足重要负荷持续供电需求，并向管理人员发送故障预警信号^[2]。

（三）负荷管理

在智能电网中，继电保护系统和电能计量系统相互结合，所部署新型智能继电保护装置本身具备测量功能，可用于采集电流电压、断路器开关位置、主变压器分接位置、温湿度等信息。同时，大数据、人工智能等技术的应用，继电保护系统还具备较强的逻辑运算能力，可以独立完成复杂决策任务。从智能电网运维管理角度来看，新型智能继电保护系统在负荷管理领域展露出一定价值，MU合并单元汇总继电保护装置检测数据，上传至系统后台进行分析，根据智能算法输出值，准确掌握智能电网整体运行状态，分析用电行为模式和预测负荷曲线未来变化趋势，协助管理人员管理电网负荷，合理调配电源侧、负荷侧可控资源，优化负荷分布情况，以此来预防局部线路过载等问题发生。

二、继电保护技术在智能电网中的具体应用

（一）线路保护

智能电网内电压等级在110kV及以上的线路，继电保护系统均具备线路保护功能，实时监控线路运行状态，确认电流、电压超出警戒值后，判断线路存在短路、过载风险，即刻展开保护动作，切除故障线路，并把故障线路原本承担负荷，就近分配给其他线路临时承担，直至故障问题得到解决，再把故障线路投入运行。不同电压等级的线路保护逻辑方式存在区别，必须专项制定线路保护方案。例如，对于110kV线路，采取单线保护方式，单一部署具备主保护功能和备保护功能的保护装置，以及配套智能终端与MU合并单元，继电保护装置采样部分接入线路侧合并单元，具备直接采样能力，以线路电压、电流作为采样内容。对于220kV线路，变电站普遍采取双母线连接方式，必须在各组线路上均部署2套线路保护装置，分别实现主要保护功能与备用保护功能，并按照双机模式来部署合并单元及智能终端，利用光纤保持继电保护装置采样部分和线路侧合并单元直连状态，由

线路侧获取电压电流采样数据，由母线侧获取母线电压采样数据，采样结果提交给各间隔保护装置，实现检同期合闸功能和直接跳闸功能^[3]。

(二) 变压器保护

对于变压器保护功能，确定电压等级，合理设计面向不同变压器的继电保护方案，保护功能、逻辑方式有所不同。面向110kV变压器，把电源保护和非电量保护，作为核心保护功能，单套配置继电保护装置，装置具备

完整主备保护功能，110kV变压器单套配置条件和220kV变压器单套配置方案完全一致，具体如图1所示。面向220kV变压器，以电量保护和非电量保护，作为核心保护功能，部署主保护、后备保护两套继电保护装置来实现电量保护功能，部署单套继电保护装置来实现非电量保护功能，同时在变压器高压侧、中压侧与低压侧独立部署2套智能终端及MU合并单元，各项继电保护功能均采取直接采样、直接跳闸方式。

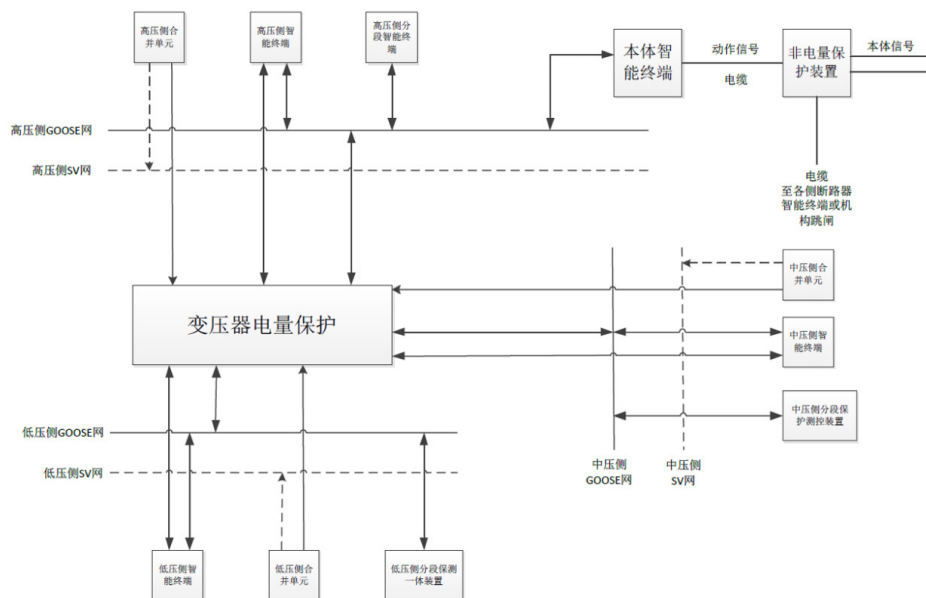


图1 变压器保护主后一体单套配置方案

(三) 母线保护

对于母线保护方案，按照母线电压等级，制定专项方案，110kV母线部署单套继电保护装置，220kV母线部署2套继电保护装置，继电保护逻辑方式一致，均采用直接采样、直接跳闸方式，母线保护内容涵盖差动保护、母联死区保护、失灵保护在内的多项功能。如此，既能满足母线保护需求，长期维持母线平稳运行工况，同时，又能简化继电保护系统结构，减少实际部署的继电保护装置数量，有利于减轻智能电网运维管理负担和降低继电保护成本。相比单套保护方案，双套保护方案内容较为复杂，实现难度较高，尽量采取集中布置方式，在差动保护装置内部增设复合电压闭锁元件、大差元件和小差元件，利用闭锁元件来实现母联死区保护功能与失灵保护功能，利用大差元件准确辨别母线区内外故障性质，利用小差元件来锁定母线故障位置^[4]。同时，母线双套保护方案还应采取双网模式，直采直跳组网方式、网采网跳组网方式互为备用，保持并行冗余状态。

(四) 母联保护

母联保护功能也被称为分段保护功能，以预防母线短路问题发生、限制故障扩散范围，作为保护目标，把母线作为保护对象。智能电网运行阶段，判定母线出现短路或是其他故障问题后，继电保护装置分段展开动作，逐步在智能电网内隔离故障母线与相关设备。母联

保护功能实现期间，以母线电压等级为依据，分别制定220kV母联保护方案、110kV母联保护方案和35kV母联保护方案。其中，220kV母联保护方案必须部署双套继电保护装置，且2套装置过程层网络保持独立状态。110kV母联保护方案部署单套继电保护装置，即可满足保护需求，以点对点跳闸，作为分段保护跳闸方式。而对于35kV母联保护方案，尽量选择本地安装方式，配置集保护、测控功能于一体的继电保护装置，装置本身具备GOOSE跳闸接口，通过跳闸接口，将继电保护装置接入110kV过程层网络。

(五) 中低压间隔保护

对于中低压间隔保护功能，智能电网内10kV和35kV部分都应具备此项功能，部署集保护、测控功能于一体的继电保护装置，按照单个间隔标准，单套部署继电保护装置。具体来讲，高压室内部署间隔开关柜，跟随部署继电保护装置。基于中低压设备运行特性，禁止选用电子互感器，利用常规互感器来替换电子互感器，经由常规二次电缆，直接展开保护跳闸动作。

三、继电保护技术在智能电网中的控制策略

(一) 改进组网方式

相比传统电网，智能电网具备较高自动化程度，电网运行期间，电网设备通过数字网络传输信息，原有网络组网形式，未能满足智能电网运行需求，并削弱继电

保护效果, 继电保护系统无法准确了解电网运行状况, 从而引起拒动、误动事件。对此, 在电网转型升级背景下, 必须改进组网方式, 可选组网方式包括直采直跳、直采网跳、网采网跳。结合实际情况来看, 新型组网方式也存在一定问题有待解决, 为持续强化继电保护效果, 必须针对性采取改进措施。以网采网跳组网方式为例, 综合应用表现最为理想, 是智能变电站首选组网方式, 彻底解决不同设备相互影响问题, 按照星形结构来搭建网络拓扑结构。但在继电保护系统运行期间, 网采网跳组网方案暴露出网络数据交换可靠性差的问题, 信号冗余复杂, 信号源众多, 网络时延受到影响, 未能同步传输数据。针对此项问题, 可选择采取点对点输出方式, 直接传输 SV 采样数据, 并搭建同步时钟系统, 利用统一时间源和时间戳, 检验数据一致性。如果数据传输规模庞大, 额外采取流量抑制手段, 将发送者流量抑制在可控范围内, 按照指定方式处理各类消息, 同样能强化设备处理能力^[5]。从现实层面来看, 要求智能电网内部独立配置过程层网络和站控层网络, 按照电压等级, 独立组网, 各套过程层网络均具备独立接口, 把继电保护装置接入对应等级网络当中。此外, 过程层网路包含 GOOSE 网络、SV 网两部分, 应明确二者功能定位。其中, GOOSE 网络以检查间隔层及处理层设备质量状态、控制数据交换过程为功能定位, 搭建星形网络结构, 继电保护装置与智能终端装置间点对点连接, 按照电压等级配置网络, 220kV 以上电压等级采取双网组网方案。SV 网以间隔层数据传输及检查过程层质量状态, 为功能定位, 利用工业以太网传输数据。

(二) 同步采样

传统电网继电保护系统和智能电网继电保护系统的核心区别在于, 前者采取分散就地控制方式, 现场继电保护装置自行诊断保护对象状态和展开动作, 后者采取集成控制方式, 综合处理全部采样数据, 更准确的判断智能电网运行状态, 科学制定保护策略, 这也是智能电网继电保护效果得到显著增强的根本原因。然而, 智能电网终端装置上传采样数据期间, 相同间隔采样数据未能保持同步上传状态, 误导继电保护决策。智能电网建设期间, 在继电保护系统内增设同步采样功能, 相同时刻获取全部现场采样数据, 检验数据完整性和一致性, 再把采样数据提交至智能算法, 科学制定继电保护策略, 精准展开动作, 也可理解为保持所有 MU 合并单元数据同步输出状态。从现实层面来看, 主要采取时标同步、插值再采样同步两种同步方式, 具体如下。第一, 时标同步。额外在采样数据内设定时间标签, 双重部署同步时钟源。合并单元汇总、上传现场采样数据步骤, 核对各帧数据时间标签, 分类整理时间标签一致的采样数据, 各类采样数据分批上传至继电保护系统。同时, 利用 IEE1588 精密时钟同步协议, 取代现有以太网通信网络, 同步建立时间从 1000 μ s 缩短到 10 μ s, 满足同步采样需求。第二, 插值再采样同步。以继电保护装置升级迭

代为前置条件, 配备集中式微机差动装置, 取代传统继电保护装置, 利用 CPU 模块控制采样脉冲, 维持全部支路同步采样状态。继电保护系统运行期间, MU 合并单元输出书质量, 转换成模拟量, 重复执行采样任务, 再利用差值算法来计算指定时刻同步采样数据, 计算结果上传系统后台, 必须把延时抖动范围限制在 10 μ s 以内。

(三) 在线整定

由于接入分布式能源, 智能电网运行波动系数远超传统电网, 运行状态持续变化, 变化过程无规律性可言, 无法精准预测未来运行趋势。智能电网运行期间, 如果运行状态剧烈波动或是运行方式发生变化, 实际运行状态和继电保护策略相互冲突, 削弱了继电保护效果, 其根源在于, 继电保护定值脱离实际保护需求, 没有第一时间察觉异常问题, 或是误判故障而错误展开保护动作。为保证智能电网稳定运行, 实现自适应继电保护目标, 需要增设在线整定功能, 跟踪监控智能电网运行过程, 在线校核保护性能, 确认电网运行方式、工作状态变动后, 实时整定继电保护装置的保护定值, 始终保持最佳保护状态。保护定值在线整定期间, 提前构建继电保护装置通用动作模型, 或是构建专属模型, 描述继电保护原理和动作逻辑, 把智能电网实时监测数据或是仿真估测数据作为整定依据, 计算假定工况下各台继电保护装置的保护定值, 按照智能电网继电保护要求, 自定义定值校验规则, 校验规则包含灵敏度规则、选择性规则两部分。考虑到智能电网本身结构复杂, 部署大量继电保护装置, 在线整定计算负担沉重, 整定效率、整定精度受到影响。为解决此项问题, 需要合并重复故障计算任务, 利用知识库推理手段, 获得所需故障计算列表, 优化排序计算任务。

结语

综上所述, 立足智能电网保护需求, 打造新一代继电保护系统, 创新继电保护技术应用手段, 是加快电网建设步伐和稳步提升电能供给质量的关键举措, 对我国电力行业健康发展有着重要意义。电力企业必须重新规划继电保护技术应用思路, 遵循实际出发原则, 调整继电保护应用定位, 科学制定继电保护部署方案, 主动落实改进组网方式、同步采样、在线整定三项策略, 最大限度地强化继电保护性能。

参考文献

- [1] 袁超南. 继电保护技术在智能电网中的应用[J]. 光源与照明, 2024, (12): 165-167.
- [2] 魏天舒. 继电保护技术在智能电网中的应用分析[J]. 科技资讯, 2024, 22(17): 82-84.
- [3] 崔冬庆. 继电保护技术在智能电网中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(11): 392-393.
- [4] 朱秋萍, 王丹阳. 继电保护技术在智能电网中的应用与优化[J]. 光源与照明, 2024, (04): 159-161.
- [5] 胡朦朦, 杜祥, 樊懋. 继电保护技术在智能电网中的应用分析[J]. 光源与照明, 2024, (10): 138-140.