

继电保护技术在智能电网中的应用与优化

郭楠楠

国网河南省电力公司驻马店供电公司 河南 驻马店 463000

摘要：智能电网运行形态的深刻变革对继电保护技术提出了更高要求。本文围绕智能电网与继电保护的技术基础，梳理了继电保护在输电、配电、新能源并网及智能变电站等场景中的应用现状，剖析了电网结构复杂化、新能源并网干扰、传统技术适配不足及装置协同短板等突出问题。在此基础上，从整定配置优化、新能源适配技术改良、智能化升级及多区域协同机制完善四个维度提出优化路径，为提升智能电网继电保护体系的运行效能提供参考。

关键词：智能电网；继电保护；新能源并网；保护优化；协同运行

引言：智能电网的快速推进重塑了电力系统的运行形态，继电保护作为维系电网安全的技术屏障，面临前所未有的适配压力。新能源大规模并网、电网拓扑日趋复杂、运行工况持续波动，让传统保护技术在判据精度、响应速度与协同能力等方面暴露出明显短板。输电、配电、变电站等不同场景下的保护需求各有差异，既有技术体系难以全面覆盖。梳理继电保护在智能电网中的应用现状与存在问题，探索针对性的优化方向，对保障新型电力系统安全稳定运行具有现实意义。

1 智能电网与继电保护技术基础理论

1.1 智能电网技术特征与运行模式

现代电力系统的智能化升级重塑了传统电力网络的运行形态，新型电力架构依托数字化传感与网络传传输手段完成电力能源的输送与调配^[1]。电力网络的资源覆盖范围逐步拓展，能源供给结构呈现多元融合的发展态势，各类新型发电单元与电力负荷不断接入电网体系，推动电网运行状态产生持续性动态变化。智能化技术的深度融入让电力系统具备更强的自主感知能力，可实时捕捉电网运行过程中的各类运行状态信息。电网运行模式突破传统固定化的调度形式，依托数字化平台完成电力资源的动态调配，实现电力输送环节的灵活调控。网络架构的互联互通特性大幅提升电力系统的资源整合能力，跨区域电力资源的统筹调配成为电网运行的常态形式，整体系统的运行弹性与资源利用效率得到稳步提升。

1.2 继电保护技术基本原理与技术类型

继电保护依托电力系统运行参数的变化规律完成电网运行状态的判别，通过监测电力运行过程中的电流电压等关键参数波动，识别电力网络运行过程中的异常状态。技术运行核心依托电力运行数据的偏差判别机制，对电力系统故障状态做出精准甄别，依托配套装置完成电力故障区域的隔离与处理，规避异常状态对整体电力

系统造成大范围影响。经过长期技术迭代，继电保护形成多类成熟的技术体系，不同技术形式适配电力网络不同层级的运行需求。各类保护技术依托差异化的判别逻辑与执行机制，适配输电配电不同电力环节的运行场景，针对电网不同运行故障形成专属的处置逻辑，构建起多层次的电力安全防护体系，保障电力网络运行的稳定性。

1.3 智能电网场景下继电保护的运行价值

智能电网的复杂化运行形态对电力安全防护体系提出更高标准的运行要求，继电保护成为维系新型电力系统稳定运行的关键技术支撑。电力网络多元主体的接入让电网运行的不确定性大幅提升，各类电力运行隐患的出现概率显著增加。继电保护技术可以对电网运行过程中的各类异常状态做出快速响应，阻断故障隐患的扩散蔓延。智能化电网的精细化运行需求需要精准的安全防护技术作为支撑，继电保护技术能够适配电网动态化的运行特征，维系电力输送与资源调配的有序推进。稳定的防护体系能够保障各类新型电力设备与发电单元的安全运行，为智能电网长效化、常态化稳定运行筑牢技术根基。

2 继电保护技术在智能电网中的应用现状

2.1 电网输电环节继电保护技术应用

输电线路承担电力能源长距离传输的核心任务，是智能电网能源流转的关键载体，运行状态直接影响整体电网的运行秩序。继电保护技术贯穿输电线路全运行流程，依托精细化参数监测方式把控线路运行状态，及时捕捉输电过程中出现的运行异常^[2]。电力输电体系具备覆盖范围广、运行工况复杂的特点，外部环境变化与线路负荷波动都会干扰输电稳定性。继电保护相关装置与技术机制能够适配长距离输电的运行特征，针对线路运行中的各类故障隐患形成专属处置逻辑，缩短故障处置耗

时, 弱化故障问题对输电网络的干扰。持续运转的防护机制能够维持输电通道的完整性, 保障大容量电力能源的稳定输送, 维系输电网络整体的运行平稳性。

2.2 配电网中继电保护技术应用

配电网直面电力终端负荷, 结构分布更为密集, 运行工况具备明显的动态波动特征, 整体运行环境复杂多变。继电保护技术适配配电网的架构特点, 融入配电系统日常运行的全过程, 针对配网线路、终端设备的运行状态开展常态化防护管控。配电系统负荷类型繁杂, 运行状态会随用户用电行为产生频繁变动, 极易滋生各类轻微运行故障。继电保护体系可以精准区分正常负荷波动与故障异常状态, 针对配网各类故障问题实施精准隔离, 规避局部故障引发的大范围停电问题, 保障终端电力供应的连续性与稳定性, 适配配电网精细化、常态化的运行需求。

2.3 新能源接入电网继电保护技术应用

新能源发电形式的广泛普及推动电网电源结构持续革新, 各类新能源发电设备逐步并入传统电力网络, 改变电网原有运行特性。新能源发电存在出力波动明显、输出稳定性偏弱的运行特点, 会让电网潮流分布产生持续性变动, 增加电网运行管控难度。继电保护技术针对新能源并网后的电网运行特性做出适配调整, 依托适配性的判别逻辑应对新能源并网带来的电网参数变化。全新的防护运行模式可以适配新能源发电的波动特性, 精准识别新能源并网过程中的各类运行异常, 平衡新能源并网与电网安全运行的关系, 助力新型电源结构下电网的平稳运行。

2.4 智能变电站继电保护技术应用

智能变电站是智能电网实现电力转换、调度管控的核心枢纽, 数字化与智能化运行特征突出, 设备集成化程度相对较高。继电保护技术依托变电站数字化运行体系, 实现运行数据的高效采集与快速分析, 依托智能化判别逻辑完成站内设备运行状态的实时管控。站内各类电力设备运行关联度较高, 单一设备出现异常便会影响全站运行秩序。继电保护体系可以针对变电站母线、开关、变压设备等核心装置开展全方位防护, 及时处置站内各类运行故障, 保障智能变电站各类操作流程有序推进, 夯实智能电网枢纽节点的运行安全基础。

3 智能电网环境下继电保护运行存在的问题

3.1 电网结构复杂化带来的保护适配难题

智能电网建设推进过程中, 电力网络架构逐步摆脱传统单一化的拓扑形式, 线路布局与层级划分愈发多元。电力网络节点数量持续增多, 线路交叉互联的形式

更加多样, 整体拓扑形态具备极强的繁杂性与动态性^[3]。电网运行边界不断延伸, 多层级电网互联运行的模式成为主流, 潮流传输路径不再保持固定形态, 会随电网负荷变化出现频繁切换。继电保护原有适配逻辑依托传统规整电网架构设计, 难以适配复杂拓扑下的电网运行变化。复杂网络架构会大幅提升故障溯源与状态判别难度, 常规防护机制难以精准适配多变的电网运行工况, 容易出现防护匹配度不足的问题, 影响电力故障处置的精准程度。

3.2 新能源并网对保护判据产生的干扰问题

新能源发电单元大规模并入电力网络, 持续改变电网内部的潮流分布与故障电流特性。新能源机组输出功率具备随机性与波动性, 电网内部电流幅值与相位会出现持续性的动态浮动。继电保护运行依托固定的电气量判据完成故障甄别, 电气参数的频繁波动会大幅干扰判据的判定精度。新能源并网位置与并网容量的动态变化, 会持续改变电网故障状态下的电气响应特征, 既定保护阈值难以适配动态变化的电气运行环境。不稳定的电气运行参数会造成保护判别出现偏差, 引发防护动作偏差或拒动误动等不良现象, 破坏电力系统防护体系的稳定性。

3.3 传统保护技术适配智能电网的局限性

传统继电保护技术体系依托传统工频电网运行特征构建, 判别逻辑与运行机制偏向固定化与被动化。技术运行模式多依托固定电气参数完成故障识别, 难以适配智能电网动态化、多元化的运行场景。智能电网依托数字化手段实现电网状态的高频变化, 电力运行参数更迭速度更快, 运行工况的复杂程度持续提升。传统保护技术的数据处理效率偏低, 动态感知与自适应调整能力存在明显不足, 无法根据电网实时运行状态完成防护策略的自主调整。固化的技术运行模式难以匹配智能电网精细化、智能化的安全运行标准, 无法适配新型电力系统的发展需求。

3.4 保护装置协同配合存在的短板

智能电网覆盖范围内布设大量不同型号、不同功能的继电保护装置, 各类装置分属不同运行层级, 承担差异化的防护任务。装置运行标准与响应逻辑存在细微差异, 跨区域、跨层级的装置联动运行难以形成统一的运行节奏。电力系统故障往往具备区域扩散特性, 需要多区域保护装置联动处置, 单一装置独立运行的模式难以满足整体防护需求。装置之间的数据交互效率偏低, 运行信息无法实现高效共享, 故障处置过程难以形成联动配合。分散化的运行模式会造成故障处置衔接出现漏

洞,降低整体继电保护体系的防护运行效能。

4 智能电网继电保护技术的优化路径

4.1 优化继电保护整定配置方式

智能电网运行工况具备极强的动态波动属性,传统固定式整定配置模式难以适配电网拓扑与负荷状态的动态演变。电力网络运行负荷的持续变动与网架结构的持续更新,会持续改变线路潮流分布与故障电气特征^[4]。结合电网运行的动态规律重构整定配置逻辑,摒弃单一固化的参数设置模式,能够提升保护系统对复杂电网工况的适配能力。依托全域电力运行数据,结合不同供电区域的负荷特性与线路运行工况,完成保护参数的差异化设定。动态化的整定调整模式可以精准匹配电网运行的实时状态,缩减电气参数波动带来的判别偏差,让保护动作逻辑贴合现代电网复杂多变的运行场景,持续强化电力网络安全防护基础能力。

4.2 改进新能源并网适配保护技术

新能源规模化并网彻底改变传统电网的故障电流特性,随机波动的发电出力让原有保护判别体系难以维持稳定运行状态。针对新能源发电出力间歇性与波动性的运行特点,对现有保护判别逻辑进行针对性改良。调整依托工频稳态电气量构建的判别体系,适配新能源并网后故障电流衰减速度快、幅值波动大的运行特征。结合光伏风电等新能源发电单元的并网运行特性,优化故障甄别与异常判定逻辑,弱化电源出力波动对保护运行的干扰。针对性的技术改良可以有效降低保护装置误动与拒动的发生概率,提升新能源高渗透并网场景下电力保护体系的适配能力与运行稳定性。

4.3 推进继电保护智能化技术升级

电力系统智能化发展进程持续加快,传统继电保护的数据分析与处置模式难以适配新型电网的运维需求。深度融合现代数字化智能技术,升级继电保护装置的数据采集与分析能力,强化海量电力运行数据的挖掘与处理水平。搭建覆盖电网全运行环节的状态感知体系,精准捕捉电力设备与输电线路的细微运行异常。借助智能算法完成电网运行状态的自主分析与研判,根据电网工况变化自主调整保护运行策略。技术体系的智能化升级

可以弥补传统保护响应滞后、适配性不足的短板,适配智能电网精细化、高效化的运维发展需求。

4.4 完善多区域保护协同运行机制

现代智能电网具备多区域互联互通的网架特征,分散独立的保护运行模式难以应对跨区域的电力故障问题。统一不同区域、不同层级保护设备的运行标准与动作规范,消解设备型号与运行逻辑差异带来的联动阻碍^[5]。搭建高速稳定的信息交互通道,推动各区域电网运行数据与故障信息的高效流转与共享。构建全域联动的故障处置体系,依托多区域保护设备的联动配合完成故障区域的快速隔离与隐患治理。系统化的协同运行体系可以整合全域保护资源,弥补单点防护模式的运行缺陷,全面提升智能电网继电保护体系的整体防护效能。

结束语

智能电网环境下继电保护面临的挑战贯穿电网结构、新能源并网、技术适配与装置协同多个层面,各问题相互交织、彼此叠加。电网拓扑复杂化抬高了故障判别难度,新能源出力波动干扰了保护判据精度,传统技术的固化运行模式难以匹配智能电网的动态需求,装置间协同不足则削弱了整体防护效能。从整定配置、并网适配、智能升级与协同机制四个方向同步推进,能够逐步弥补各环节短板。继电保护技术的持续优化需要在参数动态调整、判别逻辑改良与全域联动三个维度协同发力,方能切实支撑智能电网的长效安全运行。

参考文献

- [1]王刚,肖义.继电保护技术在智能电网中的应用[J].模型世界,2024(2):119-121.
- [2]侯晓阳.继电保护技术在智能电网中的应用[J].灯与照明,2025,49(6):137-139.
- [3]关浩大.继电保护技术在智能电网中的应用[J].集成电路应用,2022,39(12):198-199.
- [4]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.
- [5]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.