

分布式发电对配电网继电保护的影响研究

梁潇 顾玉龙 芦浩 杨海荣 王颖

国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司 宁夏吴忠 751100

摘要: 分布式发电作为能源革命的重要方向,其快速发展对配电网继电保护提出严峻挑战。本文深入剖析了分布式发电的多元化能源构成、分散式接入等特点对配电网故障电流、潮流方向、电能质量等方面的影响机制,探讨了配电网继电保护面临的保护失效、选择性变差、孤岛并网等技术难题。在此基础上,提出了智能算法、装置优化、通信协调、标准完善等适应性改进策略,旨在提升继电保护对新能源渗透的包容性和鲁棒性。以期高比例新能源接入下的配电网安全稳定运行提供技术支撑,为能源电力行业低碳转型和高质量发展贡献力量。

关键词: 分布式发电; 配电网; 继电保护; 故障电流; 孤岛运行

随着“双碳”目标的提出,以风电、光伏为代表的分布式发电迎来跨越式发展。分布式电源凭借其清洁低碳、灵活高效等优势,在优化能源结构、提升电力可靠性方面发挥着日益重要的作用。然而,大量分布式电源接入配电网,也对传统的继电保护体系带来前所未有的冲击。新能源输出的波动性和不确定性,使配电网潮流呈现双向性和动态性,故障特性变得复杂多变,对继电保护的适应能力提出更高要求。继电保护作为保障配电网安全稳定运行的“守护神”,必须与新能源发展相向而行,在理念、技术、管理等方面积极创新,为构建清洁低碳、安全高效的现代配电网夯实基础。

1 分布式发电系统特性分析

1.1 多元化能源构成与规模灵活性

分布式发电的一次能源来源呈现多元化特点,风能、太阳能、生物质能等清洁能源被广泛应用于发电过程中。得益于风力发电机、光伏组件、燃气轮机等设备的技术进步,这些可再生能源正在以前所未有的速度渗透到配电网的各个层级。以2024年为例,我国风电和光伏发电的新增装机容量分别达到8800万千瓦和27717万千瓦,合计占全部新增发电装机容量的84.5%,充分彰显了分布式可再生能源的发展活力。与大型集中式电源不同,分布式电源的单机容量相对较小,通常在数千瓦至数兆瓦之间。但正是这种小型化、模块化的设计,赋予了分布式电源规模灵活、布局分散的独特优势。通过多台机组的协同并联,分布式电源可以因地制宜地满足不同类型、不同规模用户的用电需求,为构建清洁低碳的能源体系提供了新的路径。

1.2 分散化接入与就近供电优势

分布式发电的一大亮点在于其分散化的接入方式。不同于传统电网“集中发电、远距离输电”的模式,分布式电源多采用就近接入的策略,在负荷中心附近布置发电单元,实现电力的“零距离”传输。这种“源-网-荷”一体化的供电架构,最大限度地减少了电能输配环节的损耗,显著提升了能源利用效率。分散化接入还能够强化电网的供电可靠性和韧性。当外部电网受到自然灾害或故障影响时,分布式电源可为局部负荷提供应急供电,避免大面积停电事故^[1]。尤其在偏远地区 and 海岛等电网覆盖薄弱的场景下,分布式电源能够打破地理位置的限制,充分利用当地丰富的可再生资源,满足居民生产生活用电需求,带来显著的经济效益和社会效益。

1.3 波动性出力与间歇性运行模式

尽管分布式发电在能源转型中展现出诱人的发展前景,但其波动性和间歇性的运行特点也给配电网的安全稳定控制带来新的挑战。风能、太阳能等可再生资源易受自然条件的影响,导致分布式电源的出力呈现较强的随机性和不确定性。以光伏发电为例,其发电功率会随日照强度、太阳高度角、云层遮挡等因素而动态变化。在晴朗天气的正午时分,光伏系统可获得峰值发电量;但在夜间或阴雨天,发电量则会急剧下降甚至归零。分布式电源出力的剧烈波动,对配电网的频率稳定性和电压平衡能力提出了更高要求。与常规电源相比,分布式电源还具有明显的间歇性特点。以我国户用光伏为例,其全年发电利用小时数仅为1200小时左右,发

电时间相对较短。波动性和间歇性使得单一分布式电源难以独立承担配电网的供电任务，必须通过与储能系统协调配合、多能互补等方式，增强系统对出力波动的吸纳能力，提升供电可靠性和电能质量。

2 分布式发电对配电网继电保护的主要影响

2.1 故障电流特性变化引发保护失效

分布式电源的大量接入，使配电网由单一电源辐射式结构转变为多电源双向潮流的网络。当故障发生时，短路电流不再单纯由上游电网提供，而是叠加了分布式电源的故障电流分量。这种“网源并举”的复杂故障特性，对继电保护的可靠性提出了严峻挑战。一方面，分布式电源分担短路电流，可能导致下游故障时的短路电流幅值降低，继电保护动作不灵敏甚至拒动。另一方面，若分布式电源容量较大，其注入的短路电流可能超出主保护的整定值，在正常运行时引发保护误动^[2]。值得关注的是，新能源并网多采用逆变器接口，其提供的短路电流往往仅为额定电流的1.2~2倍，远低于同步电机水平。这种“弱支撑”特性可能延长后备保护的动作时间，加剧故障后的电压暂降，危及电网安全稳定。

2.2 双向潮流冲击传统保护逻辑架构

长期以来，配电网呈现“自上而下”的单向潮流特征，继电保护的配置与整定也基于此而设计。然而，分布式电源的广泛接入打破了这一格局，配电线路开始出现“自下而上”的潮流反送。这种双向潮流现象对继电保护构成多重冲击。首先，分布式电源引起的潮流反送可能误导方向性继电器的故障判断，导致保护装置监测方向性错误。其次，分布式电源提供的短路电流相对较小，且随电源位置和故障点距离变化明显。这种“近强远弱”的不均匀电流分布特性，易引发同一条线路上多段保护的灵敏度配合失当，形成“越级跳闸”或“保护死区”等问题。此外，分布式电源还可能干扰重合闸的可靠性。当上游继电器速断跳闸而下游分布式电源继续运行时，重合闸合闸瞬间可能产生较大的环流，加速设备绝缘老化。

2.3 孤岛运行模式带来非同期风险

当配电网发生故障而分布式电源未能及时切除时，可能在局部负荷中心形成“孤岛”。孤岛运行虽在一定程度上提高了供电可靠性，但也潜藏着诸多风险。孤岛系统失去了主网的强支撑，其内部的电压、频率水平难以维持稳定，可能偏离设备的安全运行范围。更为棘手的是，孤岛与主网之

间的连接开关处于跳开状态，继电保护可能因电压相角差消失而失去对外部故障的“感知”能力，不能及时隔离故障。当主网恢复供电时，若孤岛内的分布式电源未能与主网同步，两者并网可能引发非同期重合，产生巨大的冲击电流，损坏设备绝缘，甚至引发连锁跳闸。

2.4 电能质量恶化干扰保护判断准确性

新能源发电的间歇性和波动性，加之大量采用功率电子设备并网，使配电网的电能质量问题日益突出。逆变器易产生谐波、间谐波等高频扰动信号，这些噪声会干扰继电保护装置的故障检测和测量，导致保护动作不正确。有研究表明，光伏逆变器的谐波含量可高达50%以上，若设计不当，可能引起继电保护拒动，延误故障隔离时间^[3]。风电、光伏出力还易受天气因素影响，出现有功、无功功率的快速波动，进而引发电压闪变和频率偏移。这些现象一方面降低了继电保护装置采样的精度和可靠性，另一方面可能引起过电压保护或欠电压保护的误动。如果分布式电源接入点的电能质量问题长期得不到遏制，将使继电保护运行面临更大的不确定性，加剧电网安全风险。

3 对配电网继电保护的影响的应对策略

3.1 保护算法智能化与配置优化升级

传统的定值型保护难以有效应对新能源接入引起的故障特性变化，亟需引入更加灵活智能的保护算法。自适应保护作为一种前瞻性技术，通过在线监测系统运行状态，动态优化保护定值设置，能够实时适应电网拓扑和接入情况的变化，从而有效应对故障电流幅值波动和方向反转等问题。随着人工智能技术的发展，大数据分析等新兴手段在继电保护领域得到广泛应用。通过构建分层分布式的智能化故障识别与在线校核机制，综合考虑电网运行方式、新能源出力等多源信息，可显著提升继电保护决策的速度和可靠性，实现“主动防御、快速隔离、自愈恢复”的智能化目标。针对分布式电源广泛接入的新形势，还应加强保护装置的针对性配置，重点强化方向性元件、复压元件等装置的投运，全面提升对双向潮流、低短路电流等典型特征的捕获和判断能力。同时，风电、光伏等新能源发电易引发孤岛运行，因此在分布式电源并网点还需合理部署孤岛检测装置，综合采用频率突变法、阻抗突变法等多种检测手段，及时发现和可靠隔离无计划孤岛，确保配电网的安全稳定运行。

3.2 限流调控设备配置与电流稳定调节

分布式电源的接入对配电网的故障电流水平产生显著影响。为缓解短路电流对继电保护的冲击,需在分布式电源并网节点合理配置限流装置。限流电抗器作为一种经济有效的限流手段,可在事故时迅速投入较大电抗,抑制短路电流的突变,延缓故障恶化速度,为继电保护的可靠动作提供足够的时间余量。超导限流器凭借其阻抗随温度变化快、限流响应时间短等优势,在严重短路情况下可实现更加灵敏精准的电流抑制效果,为继电保护的安全可靠带来有力保障^[3]。与此同时,分布式电源自身的无功优化调节也至关重要。通过在并网节点配置静止无功发生器(SVG)、静止同步补偿器(STATCOM)等动态无功补偿装置,能够实现潮流的灵活控制和电压的平滑调节,进而缓解继电保护面临的电流冲击。当前,储能技术的进步为分布式电源的友好并网提供了新思路。通过分布式电源与储能系统的协同优化控制,可有效平滑新能源出力波动,削峰填谷,减轻继电保护承受的电流冲击。

3.3 通信协调机制构建与区域保护协同

大规模分布式电源的广泛接入,使配电网的结构日益复杂,多级继电保护的协调配合面临严峻挑战。构建基于现代通信技术的协调机制,实现区域内的就地保护和就地控制,成为新形势下提升配电自动化水平的关键举措。首先,要加快分布式电源并网节点通信接口的标准化建设,搭建与配电自动化系统的双向互联通道,实现新能源运行信息的实时采集和调度指令的精准下发,奠定智能化保护的通信基础。其次,要不断创新继电保护的配合方式,突破传统的“主从式”模式。通过引入均压原理、纵联闭锁等新型配合机制,可在更大范围内实现保护逻辑的动态重构,有效减少新能源渗透下的保护盲区^[4]。此外,在故障隔离和恢复供电环节,还需加强现代通信技术与新型传感技术的融合应用。通过构建基于行波原理、纵差原理的区域保护系统,充分挖掘分布式电源的灵活调节能力,可实现更加广域、更加精准的故障快速定位和隔离,最大限度地减少事故扩展,提升配电网的自愈水平。

3.4 技术标准完善与运维管理规范强化

当前,我国在分布式发电接入配电网领域的标准体系尚不完善,继电保护与新能源并网仍存在“两张皮”问题。国家电网公司发布的《分布式电源并网继电保护技术规范》,

在故障检测、孤岛识别等关键环节提出了针对性的技术要求,但如何细化量化、因地制宜地加以落实,还需在工程实践中不断探索完善。同时,应加快构建全过程、全方位的新能源接入标准规范体系,从并网申请、接入评估到运行维护,从技术标准、管理规程到人员培训,形成“全链条、无缝隙”的制度规范,为分布式发电的规模化发展提供坚实的制度保障。与此同时,电网企业还需强化精益化运维管理,针对性开展继电保护人员的业务培训和技能竞赛,提升对新能源特性的认知和判断能力;定期开展分布式电源接入区的保护校验和预案演练,及时发现和消除各类风险隐患。通过体制机制与技术进步的有机结合,切实筑牢分布式发电时代配电网安全运行的坚固防线。

4 结束语

随着“双碳”目标的提出,以分布式发电为代表的新能源将迎来更大规模的发展。习近平总书记指出,要推动能源革命,建设清洁低碳、安全高效的能源体系,为减污降碳贡献力量。在此背景下,配电网继电保护体系必须与时俱进,通过智能算法、信息物理融合等现代技术,不断强化对新能源接入的适应性。这不仅关乎配电网的安全稳定运行,更关乎能源转型和电力现代化的战略大局。继电保护作为配电自动化的“消防员”和“安全阀”,只有在设备设计、运行维护、标准规范等方面与新能源发展同频共振,加快提升对分布式电源接入的“包容性”,才能为构建新型电力系统提供坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 肖旭东,白倩.分布式发电对配电网继电保护协调性的影响[J].电力设备管理,2025,(01):70-72.
- [2] 魏天舒.分布式发电对配电网继电保护的影响研究[J].科技资讯,2024,22(16):89-91.
- [3] 葛晓东.分布式发电对配电网继电保护的影响分析[J].集成电路应用,2022,39(12):246-247.
- [4] 蒙博.分布式发电对配电网继电保护及自动化的影响[J].大众用电,2021,36(10):87-88.
- [5] 姚雄.分布式发电对配电网继电保护的影响[J].电子技术与软件工程,2021,(19):228-229.

作者简介:梁潇(1999—),男,汉,宁夏回族自治区吴忠市人,本科,就职于国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司,继电保护员,研究方向为继电保护。