

分布式电源接入对 10 千伏供配电系统的影响及应对策略

陈奎明

郑州市污水净化有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：在“碳达峰、碳中和”目标推动下，分布式电源（光伏、风电等）在 10 千伏供配电系统中的接入规模持续扩大，为能源结构转型提供了重要支撑，同时也打破了传统 10 千伏供配电系统的单向辐射运行模式，给系统运行、控制和管理带来一系列实际挑战。本文结合 10 千伏供配电系统的实际运行特点，重点分析分布式电源接入对系统电能质量、继电保护、潮流分布及运维安全的核心负面影响，明确各影响因素的作用机制与实际表现，在此基础上提出针对性、可落地的应对策略，兼顾系统安全稳定运行与分布式电源高效消纳。研究表明，分布式电源接入带来的电压质量超标、保护误动拒动、谐波污染、孤岛运行风险等问题，可通过优化电压控制、改造保护配置、严控电能质量、强化安全管控等方式有效缓解。本文研究内容贴合工程实际，可为 10 千伏供配电系统接纳分布式电源提供实践参考，助力配电网向低碳化、智能化转型。

【关键词】：分布式电源；10 千伏供配电系统；电能质量；继电保护

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.051

引言

随着清洁能源替代进程的加快，分布式电源凭借靠近负荷、灵活高效、环境友好的优势，已成为 10 千伏供配电系统的重要组成部分。10 千伏配电网作为连接输电网与用户的关键环节，承担着电力分配和末端供电的核心功能，其运行状态直接关系到供电可靠性和电能质量。传统 10 千伏供配电系统采用单向辐射式结构，设计初衷仅考虑上级电源向下级负荷供电，缺乏对多电源接入的适配能力。近年来，分布式电源的规模化接入，使得系统从单一电源供电转变为多电源协同供电，潮流方向、短路电流大小和分布均发生显著变化，原有系统的规划设计、运行控制和保护配置已难以适应新的运行场景。当前，部分区域 10 千伏供配电系统因分布式电源接入不合理，出现电压质量超标、保护误动拒动、谐波污染、孤岛运行等问题，既影响了系统安全稳定运行，也制约了分布式电源的高效消纳，还存在严重的运维安全隐患。深入分析分布式电源接入对 10 千伏供配电系统的实际影响，探索科学可行的应对策略，解决实际运行中的痛点难点，对于推动分布式电源与配电网协同发展、保障末端供电安全、助力“双碳”目标实现具有重要的工程实践意义。本文围绕这一核心，分章节展开详细探讨，重点突出影响分析和应对策略两大核心内容，确保研究贴合实际、兼具实用性和学术性。

1 分布式电源概述及 10 千伏供配电系统运行特性

1.1 分布式电源的类型及接入方式

分布式电源是指功率相对较小、布置在用户附近、就地利用能源发电的电源设施，核心类型包括太阳能光伏发电、小型风力发电，此外还有生物质能发电等。其中光伏和风电是当前 10 千伏供配电系统中接入量最大的两类，其接入方式主要分为两种：一是通过变压器升压后直接接入 10 千伏主干线或分支线，适用于容量较大的分布式电源；二是通过逆变器转换为交

流电后，经配电装置接入 10 千伏配电网，多用于中小型光伏、风电项目。分布式电源的接入位置灵活，可根据负荷分布、能源资源条件，布置在工业园区、工商业厂区、居民小区等区域，接入容量从几十千瓦到几兆瓦不等，这种分散接入的特点使得系统运行管控难度显著增加。与集中式电源相比，分布式电源出力受自然条件影响较大，光伏出力依赖光照强度和环境温度，风电出力取决于风速和风向，出力的随机性和间歇性特征明显，给 10 千伏供配电系统的功率平衡和运行调节带来不小挑战，也为各类负面影响的发生埋下隐患。

1.2 10 千伏供配电系统的核心运行特性

10 千伏供配电系统是电力系统的末端环节，覆盖范围广、节点多、线路结构复杂，主要承担着将中压电力输送至配电变压器，再降压后供给工商业和居民用户的任务。其传统运行模式呈现单向辐射特性，电力从上级变电站的 10 千伏母线流出，经主干线、分支线输送至各个负荷节点，潮流方向固定且可预测，系统电压、频率和功率分布相对稳定。10 千伏配电网的线路阻抗较大，电压调节能力较弱，通常依靠上级变电站的调压装置和线路无功补偿设备维持电压稳定，末端电压易受负荷变化影响出现小幅波动，但波动范围可控制在允许范围内。系统的继电保护装置按照单向潮流设计，多采用三段式电流保护，动作逻辑简单、可靠性高，能够快速切除故障线路，保障系统其余部分正常运行。而分布式电源的接入，直接打破了这种稳定的运行模式，导致各类安全隐患和运行问题凸显。

2 分布式电源接入对 10 千伏供配电系统的影响

2.1 对电能质量的影响

分布式电源接入对 10 千伏供配电系统电能质量的影响最为直接，也是实际运行中最为突出的问题，主要体现在电压质量超标、谐波污染两个核心方面。电压质量超标、调压难度增大是首要问题，分布式光伏、风电多为就地发电，在负荷低谷

时段易出现反向送电现象, 多余电力在配电线路上产生电压抬升效应, 极易造成线路末端过电压、电压偏差超限; 同时, 传统单向调压方式因潮流双向化而失效, 无法适配分布式电源出力的随机性和间歇性, 导致电压波动、闪变问题突出, 频繁电压异常会影响敏感用电设备的正常工作, 缩短设备使用寿命, 甚至引发设备故障。谐波污染与电能质量劣化同样不容忽视, 分布式电源多通过逆变器并网, 逆变器在将直流电转换为交流电的过程中, 会产生谐波、直流分量, 多台分布式电源并网的谐波叠加后, 会导致系统谐波超标、功率因数异常, 不仅干扰配电设备、计量装置的正常运行, 还会影响用户用电设备的稳定性, 增加设备损耗。

2.2 对继电保护系统的影响

传统 10 千伏供电系统的继电保护装置基于单向潮流设计, 分布式电源的接入打破了这一模式, 使系统潮流呈现双向流动特征, 直接导致短路电流变化, 引发保护装置误动拒动, 严重影响继电保护的选择性、灵敏性和可靠性。分布式电源并网后成为故障反向电源, 会改变原有短路电流的大小、方向与分布, 导致原有过流保护、零序保护的整定定值不再适配, 进而引发保护误跳闸, 或无法可靠切除故障, 最终扩大停电范围。例如, 当线路发生短路故障时, 分布式电源会向故障点提供反向短路电流, 可能导致保护装置的动作时限延长, 无法快速切除故障; 若分布式电源接入位置靠近保护装置, 反向故障电流还会导致保护装置误判故障方向, 引发误动作。此外, 分布式电源中的逆变型电源故障后, 提供的故障电流呈现幅值受限、相角受控的特征, 与传统同步发电机的故障电流差异较大, 会进一步影响阶段式电流保护的整定和配合, 降低保护装置的动作可靠性, 增加故障排查难度和处理时间。

2.3 对潮流分布、线损及运维安全的影响

分布式电源的接入改变了 10 千伏供电系统原有的潮流分布规律, 使单向潮流变为双向潮流, 潮流大小和方向随分布式电源出力变化而动态调整, 增加了系统潮流管控的难度。在分布式电源出力较大且本地负荷较小时, 多余的电力会反向输送至上级电网, 导致线路潮流方向反转, 这不仅会影响上级变电站的运行调节, 还可能导致线路过负荷, 加速线路老化, 增加故障风险。潮流分布的改变还会直接影响系统线损, 当分布式电源出力与本地负荷匹配度较高时, 电力可就地消纳, 减少远距离输送带来的线损; 但当出力与负荷不匹配, 出现反向输电或潮流分布不均时, 会导致部分线路负荷过重, 线损大幅增加。更为关键的是, 分布式电源接入会带来孤岛运行风险和运维安全隐患, 当电网故障跳闸后, 分布式电源可能脱离主网独立带局部负荷形成孤岛, 造成线路带电却无明显标识的情况, 严重威胁检修人员人身安全; 同时, 孤岛内的频率、电压无法得到有效控制, 易烧毁用户用电设备和配电设备, 引发二次故障。

3 分布式电源接入的应对策略

3.1 优化电压控制与运行方式

针对分布式电源接入带来的电压质量超标、调压难度增大问题, 核心应对措施是优化电压控制与运行方式, 通过设备加装和协同调节, 实现动态调压。具体而言, 可在分布式电源接入点及线路关键节点加装无功补偿装置、静止无功发生器 (SVG)、智能调压电容器、有载调压变压器等设备, 提升系统电压调节的灵活性和响应速度; 同时, 采用分布式电源有功/无功协同调节模式, 结合台区负荷实时数据, 动态调整分布式电源的出力和无功功率输出, 精准抑制过电压现象, 将电压波动、闪变控制在允许范围内, 解决传统单向调压方式失效的问题, 保障电压质量稳定。此外, 在接入规划中, 需结合系统电压调节能力, 合理确定分布式电源的接入位置和容量, 避免负荷低谷时段反向送电引发的电压抬升问题。

3.2 改造完善继电保护与定值优化

针对短路电流变化导致的保护装置误动拒动问题, 需通过改造完善继电保护配置、优化整定定值, 提升保护装置的适配性和可靠性。首先, 升级并网开关的保护功能, 加装防逆流保护、方向过流保护、孤岛保护装置, 确保保护装置能够准确识别故障方向和运行状态, 避免反向电流引发的误动作; 其次, 重新核算全线短路电流, 结合分布式电源接入后的故障电流变化特征, 分区调整保护定值, 确保保护定值与系统运行状态相适配; 同时, 加装故障解列装置, 实现故障的快速隔离, 防止分布式电源反向供电导致故障扩大, 保障系统其余部分正常运行。此外, 加强继电保护装置的智能化升级, 提升设备的故障识别能力和抗干扰能力, 建立在线监测机制, 及时发现并处理保护异常, 杜绝保护误动、拒动现象。

3.3 严控并网电能质量

为解决分布式电源接入带来的谐波污染、电能质量劣化问题, 需从源头管控、过程监测、验收把关三个方面入手, 严控并网电能质量。一是从源头规范, 明确要求并网逆变器具备低谐波、高功率因数性能, 限制逆变器产生的谐波和直流分量, 从根本上减少谐波污染源; 二是加强过程治理, 在分布式电源并网逆变器出口、系统关键节点加装有源电力滤波器谐波治理装置, 精准抵消谐波影响, 降低总谐波畸变率, 改善功率因数; 三是强化监测与验收, 常态化开展电能质量监测, 实时跟踪谐波含量、功率因数等关键参数, 严格执行分布式电源并网验收标准, 对不合格机组坚决杜绝接入, 确保并网电源的电能质量符合系统运行要求。

3.4 配置孤岛防护与并网安全管控

针对孤岛运行风险和运维安全隐患, 需通过完善防护装置、强化管控措施, 保障系统运维安全。一方面, 统一为分布式电源加装主动/被动孤岛检测装置和快速解列装置, 当检测到

孤岛运行状态时,快速切断分布式电源与主网的连接,防止孤岛持续运行引发的安全事故和设备损坏;另一方面,完善并网调度协议,将分布式电源纳入配网统一调度管理,明确分布式电源的启停、出力调节要求,避免无序运行对系统造成冲击。同时,强化运维安全管理,严格执行检修停电挂牌、闭锁等安全措施,明确孤岛运行的应急处置流程,杜绝孤岛带电作业风险,保障检修人员人身安全和设备安全。

4 系统运行管理优化

4.1 建立分布式电源协同调度机制

分布式电源的规模化接入,使得10千伏供电系统的运行管理难度大幅增加,建立协同调度机制是保障系统安全稳定运行的重要支撑。调度部门需将分布式电源纳入系统统一调度管理,建立分布式电源出力预测机制,结合天气条件、负荷变化等因素,精准预测分布式电源的出力情况,为调度决策提供依据。优化调度策略,根据分布式电源出力预测结果和系统负荷需求,合理分配上级电源和分布式电源的供电份额,实现功率平衡,减少潮流波动和线损。加强分布式电源与上级电网的协同配合,明确分布式电源的启停、出力调节要求,避免分布式电源无序运行对系统造成冲击,同时配合电压控制、保护优化等措施,提升系统整体运行稳定性。

4.2 加强系统运行监测与运维管理

加强10千伏供电系统的运行监测,搭建完善的监测平台,实现对分布式电源接入点、线路、配电设备的实时监测,重点监测电压、电流、功率、谐波等关键参数,及时发现电压

越限、谐波超标、线路过负荷、孤岛运行等异常情况,发出预警信号,为运维人员提供决策依据。建立常态化运维管理机制,定期对分布式电源并网设备、继电保护装置、电能质量治理设备、孤岛防护装置进行巡检和维护,及时排查设备故障和安全隐患,确保设备正常运行。加强对运维人员的专业培训,提升运维人员对分布式电源接入后系统运行特性的掌握程度,提高故障排查、设备维护和应急处臵能力,确保系统出现异常时能够快速响应、及时处理,缩短故障处理时间,提升供电可靠性。

5 结论

分布式电源接入10千伏供电系统,是推动能源结构转型、实现“双碳”目标的重要举措,但其出力的随机性、间歇性以及接入方式的多样性,给系统电能质量、继电保护、潮流分布和运维安全带来了一系列核心负面影响,其中电压质量超标、保护误动拒动、谐波污染、孤岛运行风险是最为突出的问题,严重影响了系统的安全稳定运行和分布式电源的高效消纳,也威胁着运维人员人身安全和设备安全。本文通过深入分析这些影响的实际表现和作用机制,结合10千伏供电系统的运行特点,提出了针对性的应对策略,核心包括优化电压控制与运行方式、改造完善继电保护与定值优化、严控并网电能质量、配置孤岛防护与并网安全管控以及加强运行管理优化等,这些策略贴合工程实际,无需复杂的理论支撑,可直接应用于实际工程实践,能够有效缓解分布式电源接入带来的不利影响,实现系统安全稳定运行、分布式电源高效消纳与运维安全的双赢。

参考文献:

- [1] 姜家星.分布式电源接入对盘锦配电网影响的研究[D].沈阳农业大学,2022.
- [2] 张渊.计及多主体效益的增量配电网分布式电源优化规划研究[D].江苏大学,2020.
- [3] 栗陶.新疆新能源及分布式电源接入配电网适应性研究[D].西安科技大学,2018.
- [4] 于润泽.分布式电源接入的配网自动化及配网规划研究[D].东南大学,2018.
- [5] 郭楠.分布式光伏电源并网影响分析与控制策略[D].江苏大学,2018.