

分布式光伏接入对配电网运行影响分析

任 伟

国网谷城县供电公司 湖北 襄阳 441700

【摘要】：随着分布式光伏的大量接入，其运行方式、调控逻辑和能量流动方式发生了根本性的变化，分布式光伏成为电力体系构建过程中的关键变革因素。分布式光伏发电是未来新能源的重要发展方向之一，其大规模接入配电网导致传统无源配电系统演变为以多电源供电方式为特点的配电系统，增加了电网运行的不确定性和复杂性。通过分析分布式光伏接入对配电网运行的影响发现，配电网由“无源单向供电”向“有源双向互动”系统转变引起的矛盾，源于现有配网规划设计和设备配备规范无法适应高密度、随机等特点的大规模分布式电源接入要求。

【关键词】：分布式光伏接入；配电网；运行影响

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.064

在能源转型深入推进和“双碳”等多重约束下，具有接入灵活、清洁低碳等特点的分布式光伏迅速成长为我国新一代电网建设的关键支柱，促进我国从以集中式电源为主转向集中式和分散式的协调发展。分布式光伏大规模接入为新一代能源结构转变提供了新的动力，对其安全运行提出了新的挑战。以“无源网络”为核心的传统配电系统，其规划逻辑基于“仅接受负载”这一假定，采用的是“被动响应式”的调节方式，且仅适用于单向电能输送。随着大规模分布式光伏接入，配电网的电压分布由“单调递减”到“起伏波动”，潮流由“单向流动”到“双向交互”，由“确定可控”到“复杂多变”，并呈现出逆过载、保护失配等问题，成为新一代新能源发电系统有效运行的瓶颈。

1 分布式光伏接入对配电网运行的影响

1.1 电压分布特性改变和越限风险

分布式光伏接入给配电系统带来了显著的影响，其打破了原有配电网的调节均衡的格局。在常规配电网中，电能由变电站母线向末端负载单向传输，电压沿馈线呈现单调下降的趋势，其控制方式是通过有载调压变压器的分接和压差补偿完成，其控制逻辑具有可预见性。随着分布式光伏的不断接入，其主动投入到配电网中，将导致接入节点及周围地区的电压升高，使原有的线性下降趋势变为“先升后降”等多种形式，破坏供电网络的均衡状态。该变化幅度与光伏接入地点和实际运行状态等有直接关系，接入点越接近负载终端，其电压抬升效应越明显。已有研究发现，随着光伏接入比例上升到某一临界点，该区域内的光伏发电出力若超出当地用电负荷，会造成系统的电压越限问题；而光伏发电系统的间歇性、随机波动又会使系统的电压跳过下限。特别是正午时分，当太阳辐射强度较大且负载较低时，逆潮流与光伏发电功率的叠加，导致电压上升问题更加显著，甚至可能超过电网的电压水平^[1]。

1.2 潮流方向逆转和网络损耗变化

分布式光伏接入改变了传统配电系统中的功率分配格局，

导致电能流向由“单向”转变为“双向互动”，也使配电系统的网络损耗表现出复杂多变的特性。在常规配电系统中，潮流总是由变电站母线向末端负载单向流动，潮流方向单一，规模可预测，损失多发生在变电所至负荷之间，损失分配较为稳定，可精确测量。在分布式光伏输出超出当地用电负荷时，剩余电量会被反送至上层电网，造成“反向潮流”，破坏了配电网原来的能量均衡。在积极层面，反向潮流指的是分布式光伏发电既可以满足局部用电需求，又可以为上层电网提供清洁电力支持，能够减轻输电电压压力，降低输电阻塞风险，合理分配供电资源。

1.3 电能质量扰动与谐波问题

由于采用基于功率电子变换器的分布式光伏接入方式，该系统运行特点与常规同步发电系统存在根本区别。功率电子器件的非线性运行特点，导致了谐波污染、三相不对称等新的干扰因素的产生。在电力系统中，电压波动和闪变是引起电力系统供电质量问题的重要原因。因为光伏发电系统的输出功率受到天气等多种因素的影响，其输出功率将会不断地发生变化，从而引起配电系统的电压不稳定。一旦其幅值达到某个极限，就会引起电压闪烁，从而严重危害电力系统的安全与稳定，严重时还会造成设备的损伤。然而，多台逆变器接入系统时存在大量的高次谐波。现有的逆变电源多采用 PWM 方式，但当多台逆变电源并列时，其高次谐波的叠加作用将更加明显，甚至会造成系统的整体谐波畸变，从而影响供电品质的正弦性^[2]。

1.4 保护配置复杂化和故障特性变化

分布式光伏接入给配电网带来的冲击是最大的，其中心问题是大范围的短路电流幅值、方向和分布特点发生了变化，造成常规保护结构的自适应能力降低，保护协同逻辑复杂且处理困难。在常规的配电网中，由于单一的供电方式，且短路电流幅值和方向比较固定，所以可以根据“时限配合，分级保护”的思想进行调节，以达到精确识别故障和迅速切除故障的目的，从而保证配电网的安全性。当分布式光伏接入配电网时，大量的短路电流被接入该区域，使该区域内的短路电流

幅值和方向呈现复杂的变化，从而突破常规的短路电流分布模式。在光伏发电系统的接入能力较强时，由于注入的故障电流会引起通过保护设备的电流幅值和流向的变化，从而引起保护设备的误动。

2 配电网应对分布式光伏接入的运行策略

2.1 配电网规划优化策略

配电网规划优化的目标是适应大规模分布式光伏接入，综合考虑区域负荷分布和电力系统容量等因素，构建基于光伏发电的分布式光伏接入与配电网协调配置方法。先对该地区的分布式光伏开发潜力进行评估，并对其进行容量估算，确定各地区光伏接入限制，并构建可承受新能源发电容量的发布和预警体系，以指导其科学合理地布局和有序开发。考虑到分布式光伏的接入特点，对配电网的拓扑进行优化，通过对馈线布置和导体断面的合理设计，提高配电网的输电容量和柔性调控能力，防止反向潮流引起的线路过载和电压越限。通过对分布式光伏接入节点的优选，提出“就近接入，就地消纳”的布局方式，并根据负载分布特点，对其进行合理布局，以减小光伏发电功率与负载之间的时间和空间不匹配程度，减小逆向潮流和网损。进一步加强配网基础设施建设，通过在配网中设置光伏电池的接入接口，对无功补偿设备进行优化布置，提高系统的电压调控水平，为大规模分布式光伏接入建设提供硬件支持^[3]。

比如，在大规模分布式光伏接入前，某县域 10kV 配电网多为典型的辐射型网络，其终端线的某些 35 mm 见方的导体，其负载率终年不到 30%，其接入后易发生电压超限等问题。通过对配电网容量的精细评估，将其纳入地区的合理比例控制在 25% 之内，同时对 3 条重型支线和 8 个终端支线进行网络优化，使线路断面平均增大到 70 mm²，并增加 4 个连接开关，形成环形运行。并将分布式光伏接入节点设置在负载集中地区，各台区接入的总容量不得大于 50%，并配备智能电容和 SVG 设备。通过项目的应用，该地区配电网的电压合格率从 81.2% 提高到 99.5%，综合线损下降 2.3 个百分点，没有发生过电压超限和保护误动的情况，为实现新能源接入和能源消纳提供了有力的保障（如表 1）。

表 1 某县域 10kV 配电网大规模分布式光伏接入优化前后数据对比

指标名称	优化前	优化后
网架结构	辐射型结构	环网运行结构
末端线路导线截面	35 mm ²	70 mm ²
分布式光伏合理渗透率	无明确限值	≤25%
单台区光伏接入容量	无统一约束	≤变压器容量 50%

指标名称	优化前	优化后
电压合格率	81.2%	99.5%
线路平均损耗	基准水平	降低 2.3 个百分点
电压越限与保护误动	频繁发生	未出现

2.2 配电网运行控制策略

建立“态势感知—资源聚合—协同调控”的一体化调控体系，促进配电网由“被动消纳”到“主动调节”转变。构建基于光伏出力、电网运行参数等多源信息的配电网区域传感网，对分布式光伏和配电系统运行状况进行精确监控和态势判断，提高调度的准确性和时效性。针对电网调度中存在的问题，基于电网调度的直控和调度模块，其中，直采直控主要针对即时和紧急情况下的秒级调控，而采转发主要用于长时间尺度的预调峰类业务，支撑运行控制需求。研究内容包括基于虚拟同步发电机技术，利用强逆变器的惯性特点，降低系统对分布式电源输出的影响；优化无功调控性能，提高系统的有功和无功协同优化能力。构建分布式光伏发电群协调调控机制，按照“先集中后分布、先中压后低压、先工商后居民”的原则，实现对光伏发电群的整体协调管理，以抑制光伏发电的波动，优化电力潮流分布，缓解电压越限等问题，确保配电网的安全稳定运行^[4]。

比如，某 10 kV 工业园的 10 kV 配电网中，其分布式光伏总容量达 8.6MW，包含 12 个工商业光伏电站和 3 个家庭用光伏电站，其发电功率在一天之内波动超过 60%，曾经因为出力突变导致电压波动与潮流紊乱。针对这一问题，构建配电网全域感知网络，通过 52 个智能监控终端对光伏出力、线路功率等进行实时采集，以 1 秒/次的频率对其进行精确分析。提出直采直控和用采转发联合的调控方式，在紧急情况下，利用直采直控方式，在实时调度中，利用采转发方式，确定电网的调峰方案。通过对逆变电源的控制方法进行研究，将逆变电源的惯性时间常数提高到 0.8 秒，实现逆变电源的无功补偿，使其在 0.9-1.1 的范围内实现无功补偿。构建“工业优先、家庭优先”的协调管理模式，有效抑制电力的波动。

2.3 技术升级与设备优化策略

通过对现有系统进行技术更新和设备优化，可以提高分布式光伏接入容量的适应性，实现对其大规模接入应用的有效调控；通过对配电网监控设施进行改造，推进智能监控终端和智能断路器的应用，提高配电网的数字化和智能化水平，以达到对光伏电站和配电网实时监控和快速处理的目的；通过对光伏系统的综合性能进行研究，研制出具有高效率、低损耗的新型功率变换器，以减少电网中的电能损耗；采用宽频带滤波器，对变流器输出的谐波进行有效抑制，实现对电网中各环节的电压误差和谐波成分的精确调控。开展储能协同技术，利

用锂电池储能系统,提升缓冲调控能力,并根据短期辐照度预测模型,设计精确的充放电方案,有效抑制光伏发电的波动,提高配电网的均衡性能。通过对配电网保护的改进,增加了抗孤岛保护和方向保护,使其适应了电力线路的方向,防止保护误动和拒动,提高配电网的应急处理能力,保证配电网的安全性^[5]。

比如,某农村10kV配电网包括15个行政村,户用及小型工商业接入分布式光伏总容量5.2MW,之前存在设备损耗大、保护配置不足等问题,导致光伏的消纳效率只有82.3%。为了提高系统的适应性,通过对各光伏节点的38台智能监控终端和12台智能开关进行了系统的改造,提高了系统的适应性。采用28台功率变换系数为98.5%的大功率变频电源,并在其上铺设低损耗的XLPE电缆,加装宽带滤波和动态调压器,有效抑制5次和7次谐波。搭建1.2MW/2.4MWh的动力存储装置,根据光照强度的短时预报,设计相应的充电策略,有效抑制日间的功率波动。对继电保护的设置进行改进,增加反孤岛保护

和定向过流的保护,以适应双向潮流特点。通过该项目的实施,使配网系统整体的谐波总畸变率由5.8%下降到2.9%,故障处置时间减少60%,光伏电池利用率提高到97.1%,设备运行损失下降3.2个百分点,为配电网适配分布式光伏接入提供了有力保障^[6]。

3 结论

总之,对分布式光伏规模化接入配电网展开深入研究,通过实例分析和数据论证,明确“无源单向”配电方式和分布式光伏“主动双向”特点之间的结构矛盾,即电压越限、电能质量扰动等。研究发现,分布式光伏对配电网的影响是双重的,在向配电网输送清洁电能的同时,降低了部分网损,同时也增加了运营管理的难度,威胁了整个系统的安全性和稳定性。通过规划优化、技术升级等策略,通过实际应用证明,可以解决分布式电源接入的难点,大幅提高配电系统的容量和运行的稳定性。

参考文献:

- [1] 王宇,杨新玲.基于运行特性的分布式光伏接入对配电网的多维影响分析[J].灯与照明,2025,49(04):182-184.
- [2] 蔡伟,廖圣,秦雄鹏,等.分布式光伏下的低压配电网运行现状分析及应对策略[J].电工技术,2025,(S1):610-612+615.
- [3] 程光鹏.数字孪生下分布式光伏接入配电网过载风险预警方法[J].电器工业,2025,(06):59-65.
- [4] 朱传谱,尹朝娜,陈冠良,等.分布式光伏接入下配电网运行状态自动调试[J].太阳能学报,2025,46(05):260-266.
- [5] 曹杰文.分布式光伏接入对配电网线损的影响分析[J].光源与照明,2025,(05):178-180.
- [6] 戴丽媛,沈岳峰,张敏.分布式光伏接入的配电网高承载力规划方法[J].电气技术与经济,2025,(01):308-310+313.