

分布式光伏发电系统的电力接入技术研究

李宝健

扬州三新供电服务有限公司 江苏 扬州 225002

摘要：分布式光伏发电系统的电力接入技术是实现清洁能源高效利用的关键环节。本文围绕系统构成、接入模式、并网点及保护体系展开分析，探讨了其对配电网电压分布、潮流变化、继电保护与电能质量的影响。进一步提出接入方案优化设计思路，强调多源协同控制策略，并展望智能电网、电力电子与虚拟电厂等前沿技术的应用前景。通过系统性研究，为提升分布式光伏接入效率与配电网运行稳定性提供技术支持。

关键词：分布式光伏发电；电力接入；配电网；优化路径

引言：随着能源结构转型与绿色发展理念的推进，分布式光伏发电系统在配电网中的应用日益广泛。该系统具备灵活部署、就地消纳等优势，但也给传统电网运行带来新的挑战。如何科学规划接入方式、优化运行控制、提升系统兼容性成为亟需解决的问题。在此背景下，深入研究电力接入核心技术与优化路径，有助于提升供电稳定性与能源利用效率，为未来电网智能化发展奠定基础。

1 分布式光伏发电系统基础

1.1 系统定义及类型划分

分布式光伏发电系统，是将太阳能发电装置分散建设在用户附近，直接接入配电网或用户侧的小型发电系统。这类系统规模较小，一般不超过数兆瓦，主要用于满足局部区域用电需求。根据接入方式不同，分布式光伏发电系统可分为两类^[1]。一类是并网型，通过逆变器将太阳能电池产生的直流电转换为交流电，直接并入电网，多余电力输送至电网，电力不足时从电网获取；另一类是离网型，独立运行，配备储能装置，将白天太阳能转化的电能储存起来，供夜间或阴天使用，适合偏远无电网覆盖地区。

1.2 系统构成与运行原理

系统构成由多个不可或缺的部分组成。太阳能电池板作为核心部件，通过光伏效应实现能量转换。当光子撞击半导体材料，电子获得能量形成电子-空穴对，在电场作用下，电子定向移动产生电流，完成从光能到电能的转化。逆变器承担直流电到交流电的转换任务，不仅要改变电流形式，还需通过复杂的控制电路，使输出的交流电符合电网标准或负载需求，确保电能稳定可用。汇流箱在系统中扮演着汇聚电流的角色。多个太阳能电池板产生的电流先汇集于此，减少线路数量，降低线路损耗，提高整体系统效率。监控系统时刻监测系统

运行状态，对发电量、设备参数等信息进行实时记录。一旦出现异常情况，如设备故障或参数偏离正常范围，便立即发出报警信号。储能装置在不同系统中发挥不同作用，在并网型系统里，它能平滑电力输出，降低发电波动对电网的影响；在离网型系统中，则是保障电力持续供应的关键。运行时，太阳能电池板产生直流电，经汇流箱汇集后进入逆变器转换为交流电，交流电或直接向用户负载使用，或并入电网。储能装置根据电力供需情况，在电力过剩时储存电能，电力不足时释放电能，维持系统稳定运行。

2 电力接入核心技术解析

2.1 接入模式

电力接入模式根据电压等级分为低压接入、中压接入和高压接入，每种模式各有特性。低压接入通常适用于规模较小、用电负荷分散的分布式光伏发电系统，如居民屋顶光伏。其优势在于线路建设和维护成本较低，能够直接为周边用户供电，减少电力传输损耗。由于电压等级低，低压接入系统与用户侧用电设备的兼容性好，安装与调试过程相对简便。中压接入则适用于中等规模的分布式电源，如小型工商业园区的光伏电站。中压线路传输能力比低压线路更强，可以将电力输送到更远的距离，覆盖更大的区域^[2]。中压接入能承载更大容量的电力输出，在保障区域供电稳定性上更具优势，同时平衡了建设成本与传输效率。高压接入适合大型分布式光伏发电项目，这类项目发电容量大，电力需要远距离输送至负荷中心。高压接入凭借其高电压等级，大幅降低线路中的电流，从而减少输电线路上的功率损耗和电压降，提升电力传输的经济性与可靠性。

2.2 并网技术要点

逆变器在并网过程中起着关键作用。它将分布式光伏发电系统产生的直流电转换为符合电网要求的交流

电,通过控制电路对输出电压、频率、相位等参数进行精准调节,确保与电网电压匹配。逆变器不仅实现交直流转换,还能根据电网需求动态调整输出功率,提升系统运行效率。孤岛检测技术是保障并网安全的重要环节。当电网因故障停电时,分布式发电系统若继续向局部电网供电,会形成孤立运行的小电网,即孤岛现象。孤岛检测技术通过检测电网电压、频率的变化,或主动向电网注入特定信号,快速识别孤岛状态,并及时切断发电系统与电网的连接,避免设备损坏和人员触电风险。电能质量控制是确保电力稳定供应的必要手段。分布式光伏发电系统受光照强度等因素影响,输出功率具有波动性。为保证并入电网的电能质量,采用多种控制手段,如调节逆变器输出的无功功率,维持电网电压稳定;通过滤波装置抑制谐波,减少对电网和其他用电设备的干扰。

2.3 保护技术体系

短路保护机制用于应对系统中出现短路故障的情况。当线路发生短路,电流会瞬间急剧增大,短路保护装置迅速检测到异常电流,触发断路器动作,切断故障线路,防止短路电流对设备造成严重损坏,避免故障范围扩大。过电压保护策略针对系统中电压异常升高的状况。引起过电压的原因多样,如雷击、电网故障等。过电压保护装置通过安装避雷器、过电压继电器等设备,在电压超过设定阈值时迅速动作,将过高的电压释放或限制在安全范围内,保护电气设备绝缘不被破坏。欠电压保护措施则是为了应对电压过低的问题。当电网电压下降到一定程度,会影响设备正常运行,甚至损坏设备。欠电压保护装置实时监测电压,一旦检测到电压低于规定值,立即切断负荷或调整发电系统输出,防止因欠电压导致设备运行异常或损坏。

3 电力接入对配电网的作用

3.1 对电压分布的影响

电力接入配电网后,电压分布呈现复杂态势。在配电网末端,分布式电源的接入带来显著变化。当分布式电源发电时,电流从电源流向负载,由于线路存在阻抗,电流通过时会产生电压降。在轻载区域,大量电能注入使得线路末端电压升高,这是因为电能传输过程中,克服线路电阻导致电压在末端不断累积。相反,当分布式电源输出功率不足,或者负载需求突然增大,线路电流增加,电压降随之增大,部分节点电压会低于正常水平。这种电压波动不仅影响用电设备的正常运行,还可能缩短设备使用寿命,因为过高或过低的电压都超出设备的额定工作范围。电压分布变化还体现在三相不

平衡上^[3]。如果分布式电源接入三相线路的负荷分配不均匀,会加剧三相电压的不平衡程度。某一相接入的分布式电源过多,该相电流增大,电压降增加,导致三相电压大小不一致。这种不平衡会使三相电机等设备产生额外的损耗和振动,降低设备效率,严重时甚至造成设备损坏。

3.2 对潮流分布的改变

传统配电网潮流方向固定,从变电站流向用户端。电力接入后,潮流分布发生根本性改变。分布式电源成为新的功率注入点,在不同时段影响潮流方向和大小。在光照充足的白天,光伏发电系统大量发电,产生的电能不仅满足周边负载需求,还可能向其他区域输送,导致部分线路潮流方向逆转。原本从变电站获取电能的线路,此时转变为向其他区域供电。潮流分布的改变还与配电网的拓扑结构相关。不同的网络结构对潮流分布的影响不同,在辐射状网络中,潮流变化相对直接,而在环状或复杂网络中,潮流分布更为复杂。随着分布式电源接入点的增多,潮流分布的不确定性增加,使得配电网运行调度难度加大。调度人员需要实时掌握各电源的发电情况和负载需求,才能合理安排潮流,确保配电网稳定运行。

3.3 对继电保护的挑战

电力接入给配电网继电保护带来诸多挑战。短路电流特性的改变是首要问题。当配电网发生故障时,分布式电源会向故障点提供短路电流,使故障线路的短路电流大小和方向难以预测。短路电流增大可能导致保护装置误动作,原本设定的保护整定值在新的短路电流情况下不再适用。多个分布式电源向故障点供电,改变了短路电流的相位关系,使得保护装置难以准确判断故障位置和类型。继电保护的选择性也受到影响。传统配电网保护配置基于单一电源供电模式,而分布式电源接入后,故障时的电流路径增多。当某一区域发生故障,可能出现多个保护装置同时动作的情况,导致非故障区域停电,扩大停电范围。分布式电源的切除和投入运行,会改变配电网的拓扑结构,使继电保护的灵敏性和可靠性降低,需要重新设计和整定保护方案。

3.4 对电能质量的影响

电能质量受电力接入影响明显。分布式电源输出功率的间歇性和波动性,直接导致电压波动和闪变。光照强度变化、风速不稳定等因素,使光伏发电和风力发电的输出功率不断变化。当功率突然增大或减小时,会引起配电网电压的波动,造成灯光闪烁等现象,影响用户体验。对于一些对电压稳定性要求高的设备,如精

密仪器，电压波动可能导致设备运行异常甚至损坏。谐波问题也是电能质量下降的重要表现。分布式电源中的电力电子设备，如逆变器，在工作过程中会产生谐波电流。这些谐波电流注入配电网后，会使电压和电流波形发生畸变。谐波会增加线路损耗，降低电力设备的效率，还可能引发电网谐振，威胁电力系统安全。谐波干扰还会影响通信系统的正常运行，导致信号传输质量下降。

4 电力接入优化路径

4.1 接入方案优化设计思路

接入方案优化设计需从多维度综合考量。规划阶段，充分评估分布式电源类型、容量、地理位置与配电网结构，据此确定接入点与电压等级。对于靠近负荷中心、容量较小的电源，低压接入是优选方案，可有效缩短电力传输距离，降低损耗；而大容量电源，则要根据配电网承载能力和负荷分布，合理选择中压或高压接入，保障电力高效输送^[4]。深入分析配电网现有运行状况，涵盖潮流分布、电压水平、短路容量等参数。借助模拟不同接入方案下配电网的运行状态，提前预判接入后可能出现的电压波动、潮流紊乱等问题。通过对比各方案的优劣，筛选出能够维持配电网稳定运行、提升供电可靠性的最优方案。在设计过程中预留调整空间，以应对未来分布式电源容量变化与配电网结构升级的需求。

4.2 多源协同控制策略

多源协同控制旨在整合不同类型电源的优势。对于分布式光伏发电与风力发电等间歇性电源，结合储能系统，利用储能装置的充放电特性，在电源输出功率过剩时储存电能，功率不足时释放电能，平滑功率输出曲线，降低对配电网的冲击。不同类型电源之间建立协调控制机制。当光照条件良好时，优先发挥光伏发电的作用；在夜间或阴天，风力条件适宜时，加大风力发电的输出。通过实时监测各类电源的运行状态与配电网的负荷需求，动态调整各电源的出力，实现多源之间的互补，维持配电网的功率平衡与稳定运行。将分布式电源与配电网中的传统电源进行协同控制。在分布式电源输出不稳定时，传统电源迅速响应，弥补功率缺额；而在分布式电源充足时，传统电源可适当降低出力，减少能源消耗，提升整个电力系统的运行效率。

4.3 前沿技术应用前景

前沿技术为电力接入优化带来新可能。智能电网技术通过先进的通信、测量与控制手段，实现对配电网的实时监测与精准控制。利用智能电表、传感器等设备，收集电力系统各节点的运行数据，借助大数据分析与人智能算法，对电力接入后的运行状态进行预测与优化决策，及时调整分布式电源的运行参数，提升配电网的智能化水平。电力电子技术的发展也为电力接入优化提供支持。新型电力电子器件具备更高的转换效率与控制精度，可优化逆变器等设备性能，降低谐波产生，提高电能质量。例如，采用新型拓扑结构的逆变器，能更灵活地调节输出功率与无功补偿，增强分布式电源与配电网的兼容性。还有虚拟电厂技术，将分布式电源、储能系统、可控负荷等资源聚合，通过统一的管理与控制平台，模拟传统电厂的运行特性，参与电力市场交易与电网调度。虚拟电厂技术实现资源的优化配置与协同运行，提升分布式电源的消纳能力与配电网的灵活性，成为未来电力接入优化的重要发展方向。

结束语

分布式光伏发电系统的广泛应用推动了电力接入技术的持续演进。从系统构成到接入方式，从运行控制到保护机制，各环节均需结合实际需求进行精细化设计。面对接入后带来的电压波动、潮流变化与保护整定难题，应加强多源协调控制与前沿技术融合。通过引入智能电网、新型电力电子设备与虚拟电厂等手段，可有效提升接入系统的灵活性与稳定性，助力构建更加高效、可靠的能源供应体系。

参考文献

- [1]马洪敬,魏琛.分布式光伏并网对电能质量的影响分析[J].能源与节能,2022(7):62-64.
- [2]张玉鹏.影响分布式光伏电站发电效率的因素及提升措施思考[J].流体测量与控制,2024,5(05):105-108.
- [3]郭敏.混凝土屋面分布式光伏发电系统的结构设计浅析[J].太阳能,2024,(10):107-114.
- [4]李关良.分布式光伏发电系统接入配电网相关技术分析[J].科技与创新,2024(24):132-134.