

# 低压台区分布式光伏接入引发的电压越限问题及优化策略

胡 斌

金华市八达供电服务有限公司永康分公司 浙江 永康 321300

**摘要:** 本文深入分析了低压台区分布式光伏接入的现状,包括其发展态势、接入特点及引发的电压越限问题。电压越限对电能质量、设备运行及电网稳定性均产生显著影响。针对此问题,提出了优化电网结构与布局、应用智能调控技术以及改进运行管理策略等多方面优化策略。这些策略涉及变压器与线路升级、逆变器与储能系统的优化控制、监测体系的完善及预警机制的建立等,旨在为低压台区分布式光伏接入后的电压越限问题提供有效解决方案。

**关键词:** 分布式光伏; 低压台区; 电压越限; 优化策略

## 1 低压台区分布式光伏接入现状分析

### 1.1 分布式光伏发展态势

全球能源转型背景下,分布式光伏成为新能源发展的核心方向。2024年全球分布式光伏新增装机量达85GW,较2020年增长130%,其中低压台区接入占比超68%,主要集中于居民社区、工业园区与农村地区。我国作为分布式光伏大国,2024年新增装机48GW,低压台区接入量占比高达72%。这一增长得益于政策、技术与市场的协同推动。政策上,《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》实行“备案即并网”,并网流程从15个工作日压缩至7个,农村户用光伏还享0.03元/千瓦时补贴,发放周期缩短至3个月。技术层面,光伏组件与逆变器性能持续升级。单晶硅组件转换效率突破26.5%,10kW以下逆变器MPPT精度达99.2%,设备成本较2020年下降32%,为大规模接入奠定基础。区域分布上呈现“东密西疏、南快北稳”特点,东部浙江、江苏等省接入率超35%,西部青海、甘肃等省低于18%,但西部2024年增速达45%,高于东部28%,区域差距逐步缩小。

### 1.2 低压台区接入特点

低压台区分布式光伏接入与中高压电网差异显著,呈现三大特点。一是装机容量小且分散,单个项目多为2kW-20kW,居民户用占比82%,以5kW-10kW为主;工业园区项目稍大,为12kW-20kW,“碎片化”接入使出力波动对电压影响更直接;二是分布范围广,城市项目覆盖居民楼屋顶、商业阳台、停车场顶棚;农村项目集中于农户屋顶、大棚顶部与闲置场地<sup>[1]</sup>。以浙江某街道为例,12个台区280栋居民楼、52家商铺分散276个接入点,最远距变压器480米,线路损耗差异大,偏远点易电压异常;三是用户类型差异导致出力与负荷匹配度不同。居民用户出力高峰10:00-16:00,用电高峰18:00-22:00,“错位”导致白天余电多;商业用户出力与用

电高峰同步(9:00-18:00),消纳率88%以上;工业用户中,重工业消纳率超91%,轻工业约72%。此外,部分地区“一刀切”并网标准,未按台区特性差异化设定接入容量,导致负荷稀疏台区频繁越限,密集台区潜力未发挥。

## 2 电压越限对低压台区的影响

### 2.1 对电能质量的影响

电压越限是影响低压台区电能质量的核心问题,主要表现为电压偏高、偏低及波动,同时可能伴随谐波污染。当分布式光伏出力高峰时,大量电能注入低压台区电网,若电网无法及时消纳,会导致台区电压抬升,超出235.4V(220V+7%)的上限值。电压偏高会使敏感用电设备如家用电器、电子仪器等运行异常,例如电视机、电脑等设备的电源模块长期在过电压环境下工作,会加速内部元件老化,缩短使用寿命;照明设备如LED灯在过电压时会出现亮度异常、频闪等问题,影响使用体验。而在光伏出力骤降或负荷高峰时段,低压台区可能出现电压低于198V(220V-7%)下限的情况。电压偏低会导致电动机类设备如冰箱、空调压缩机启动困难,运行时转速下降、电流增大,不仅影响设备正常工作,还会增加电能消耗。例如,空调压缩机在低电压下运行,制冷效率会下降30%以上,同时压缩机绕组过热风险升高,易引发设备故障。另外,分布式光伏系统中的逆变器在电能转换过程中会产生谐波,尤其是在电压越限情况下,逆变器的控制策略可能出现调整,导致谐波含量增加。低压台区的谐波主要以3次、5次、7次为主,这些谐波会干扰通信信号,影响台区内智能电表、远程监测设备的正常运行,导致计量误差增大;同时,谐波电流通过线路时会产生额外损耗,加剧电压波动,形成“电压越限-谐波增加-电压波动加剧”的恶性循环,严重破坏电能质量的稳定性。

### 2.2 对设备运行的影响

电压越限会对低压台区的配电设备和用户用电设备造成双重损害,缩短设备使用寿命,增加故障发生率。从配电设备来看,变压器是低压台区的核心设备,长期处于电压越限环境下,会出现铁芯损耗增大、绕组过热等问题。当电压偏高时,变压器铁芯磁密饱和,空载损耗显著增加,根据变压器损耗计算公式,空载损耗与电压平方成正比,若电压升高7%,空载损耗将增加14.5%。长期过热会导致变压器绝缘油老化速度加快,绝缘性能下降,可能引发匝间短路、绕组烧毁等严重故障,影响台区供电可靠性。电压越限通常伴随电流增大,线路导线在大电流作用下会产生焦耳热,导致导线温度升高。若导线长期处于高温状态,绝缘层会加速老化、开裂,甚至出现绝缘击穿,引发线路短路事故。此外,电流增大还会加剧线路电晕放电,增加电能损耗,同时对周边环境造成电磁干扰;对于用户用电设备而言,电压越限的危害更为直接。家用冰箱、洗衣机等设备的电动机,在电压偏高时,定子绕组电流增大,电磁力矩异常,会出现“嗡嗡”异响,长期运行可能导致电动机烧毁;电压偏低时,电动机启动转矩不足,无法正常启动,若强行启动,会造成堵转电流急剧上升,同样会损坏电动机。电子设备如手机充电器、路由器等,其电源适配器多为开关电源,虽具有一定电压适应范围,但长期在电压越限环境下工作,内部电容、二极管等元件会承受过大电压或电流应力,易出现击穿、烧毁等故障,影响设备正常使用<sup>[2]</sup>。

### 2.3 对电网稳定性的影响

低压台区作为配电网的末端,直接连接用户,其电压稳定性对整个电网的安全运行至关重要。电压越限会破坏台区电网的潮流平衡,引发电网稳定性问题。当分布式光伏出力高峰时,大量电能注入低压台区,若上级配电网无法及时将盈余电能疏散,会导致台区电网潮流反向流动,即电能从用户侧流向变压器高压侧,这种反向潮流会改变变压器的运行状态,导致变压器分接头调节频繁,影响变压器的调节精度和使用寿命。同时,反向潮流还会使台区线路的功率流向发生变化,原本为“降压供电”的线路变为“升压送电”,进一步加剧电压抬升,形成“电压越限-潮流反向-电压进一步越限”的恶性循环。电压越限还会降低低压台区电网的抗干扰能力,增加电网故障风险。在电压波动频繁的情况下,台区内的继电保护装置可能出现误动作,例如过电压保护装置在电压短暂抬升时误跳闸,导致部分用户停电;而欠电压保护装置在电压短暂下降时未能及时动作,无法保护设备免受低电压损害。此外,当电压越限问题长

期未得到解决时,可能引发连锁反应,例如某一区域因电压过高导致线路短路,故障电流会沿着电网扩散,影响周边台区的供电安全,甚至威胁上级配电网的稳定运行;对于含有大量分布式光伏的低压台区,电压越限还会影响光伏系统自身的稳定性。当电压超过逆变器的过电压保护阈值时,逆变器会自动停机,以保护设备安全,这种“被动停机”会导致光伏出力突然中断,不仅影响用户收益,还会造成台区电网功率骤降,引发电压大幅波动,进一步破坏电网稳定性。

## 3 低压台区分布式光伏接入电压越限优化策略

### 3.1 优化电网结构与布局

优化电网结构需结合台区特性实施针对性改造。变压器升级方面,针对光伏接入率超30%的台区,将50kVA、100kVA变压器更换为200kVA、400kVA大容量型号,并采用双分裂接线实现光伏与负荷绕组独立,降低功率耦合影响。线路升级聚焦高损耗区域,对接入点距变压器超500米的台区,将35mm<sup>2</sup>、50mm<sup>2</sup>导线升级为95mm<sup>2</sup>、120mm<sup>2</sup>大截面导线,分支节点加装SVG动态补偿装置,减少无功功率传输损耗。接入选址需统筹规划,负荷密集区优先布局光伏,农村等负荷稀疏区域控制接入容量不超过变压器额定容量的45%,并推广“光伏+储能”协同模式。相邻台区通过联络线互联,配置智能开关实现负荷动态转供,平衡各台区功率分布,从根源上缓解电压越限风险。

### 3.2 智能调控技术应用

智能调控技术以快速响应与高精度控制为核心。逆变器控制优化采用下垂控制策略,当电压超过235V时,按每升高1V削减5%有功出力的比例动态调节,响应时间缩短至0.2秒;结合无功-电压控制,通过实时调整逆变器无功输出(电压高时吸收无功,低时释放无功),将电压波动范围压缩至±2.3%。储能系统配置方面,户用场景配置2-5kWh储能装置,工业场景配置10-20kWh储能单元,通过“午间充电、傍晚放电”模式平抑光伏出力波动;共享储能模式通过集中建设大容量储能设施,提升资源利用率,将光伏消纳率提升至92%。有载调压变压器(OLTC)可实现±5%电压动态调节,当电压越限时自动切换分接头,10秒内完成电压修正,确保电压偏差控制在±3%以内<sup>[3]</sup>。

### 3.3 运行管理策略改进

运行管理改进聚焦监测、预警与调度协同。监测体系建设通过在台区部署电压监测终端,实现1分钟级采样与实时数据上传,结合大数据分析构建电压越限预测模型,提前30分钟预警,准确率达92%。预警机制采用分级

响应模式，一级预警（电压超240V或低于190V）10分钟内派单处理，二级预警（235-240V或190-198V）30分钟内响应，缩短故障处理时间。调度管理优化通过动态调整光伏出力（预测越限时提前削减10%-20%）与引导用户错峰用电（工业错峰、居民谷段用电享电价优惠），平衡供需关系。定期开展运维人员技能培训，提升故障定位与处理效率，结合智能调度平台实现“监测-预警-处置”闭环管理，全面提升电压越限治理效能。

#### 4 优化策略与解决方案

##### 4.1 电压调节控制措施

电压调节控制策略的实施依赖于多种设备的协同工作。无功补偿装置，如并联电容器组，在台区中得到了广泛应用，它们能够根据负荷情况灵活投切，有效提升功率因数并减少电压损耗。SVG（静止无功发生器）则提供了更为精确和快速的电压调节能力，能够在毫秒级时间内响应电压波动，进一步稳定电网电压。此外，对现有变压器进行有载调压开关改造也是一种有效的电压调节手段，它能够在不中断供电的情况下调整输出电压，且成本相对较低。线路调压装置，诸如串联补偿器，通过降低线路阻抗来优化电压分布，减少电压损失。

##### 4.2 光伏系统控制策略优化

针对光伏系统本身，控制策略的优化同样重要。调整逆变器的过压保护值，避免其因电压过高而突然退出运行，可以有效减少电压越限事件的发生。同时，提升逆变器的无功输出能力，使其能够在更宽的范围内参与电网的无功调节，进一步提升电压稳定性。通过引入虚拟惯性控制等技术，对光伏出力进行平滑控制，限制其波动率，有助于减轻对电网电压的冲击。储能系统的辅助应用则能进一步平抑光伏出力的波动，通过存储多余电能并在需要时释放，实现更稳定的电力输出<sup>[4]</sup>。此外，制定差异化的并网标准和接入前的详细评估也是预防电

压越限的关键措施。

##### 4.3 监测与运行策略改进

在监测与运行策略方面，提升监测设备的精度和通信效率是基础。采用高精度监测终端和先进的通信技术，如4G/5G，可以显著提高数据的准确性和传输速度，为及时发现和处理电压越限问题提供有力支持。运行维护的优化同样不可忽视，包括定期巡检监测设备、制定标准化的故障处理流程以及引入无人机等高效巡检手段，都能有效提升运维效率，减少因设备故障导致的电压越限风险。此外，建立用户互动机制，通过APP推送用电建议、定期回访用户等方式，引导用户合理安排用电，特别是在光伏出力高峰时段鼓励用户增加用电，也是缓解电压越限问题的有效途径。

#### 结束语

综上所述，低压台区分布式光伏接入带来的电压越限问题不容忽视。通过实施电网结构与布局的优化、智能调控技术的应用以及运行管理策略的改进，可以有效缓解电压越限问题，提升电网的稳定性和安全性。未来，随着技术的不断进步和经验的积累，能够更加高效地解决分布式光伏接入带来的挑战，推动新能源产业的持续健康发展。同时，也需要持续关注光伏接入对电网的影响，不断优化和完善相关策略与措施。

#### 参考文献

- [1]赵欣.城市光伏并网对配电网的影响及改进研究[J].资源节约与环保,2020(11):146-148.
- [2]肖康,刘旭,朱洁.分布式光伏电站对配电网短路电流的影响[J].农村电工,2020,28(11):35-36.
- [3]傅聪敏,林志源,黄哲伟.分布式光伏台区共享型储能项目建设分析[J].农村电工,2025,33(06):32-33.
- [4]莫静山,宋娜,范凯民.含高比例分布式光伏配电网分区电压调差系数优化方法[J].电力建设,2025,46(08):12-21.