

# 分布式光伏接入对低压配电网电压稳定性的影响

万玉玮

新疆双河勘测设计有限公司 新疆 博乐 833400

**【摘要】**：分布式光伏持续增长，使低压配电网的电压稳定性呈现更复杂的特征。光照快速变动使光伏出力呈现随机波动，使原有潮流方向发生反转，并强化电压升高、节点电压差异扩大等现象。高渗透率光伏并网后，局部区域易出现电压越限、动态电压波动增强等问题，进而削弱配电网在不确定条件下保持稳定的能力。围绕电压变化规律、潮流特性及波动触发机制展开分析，有助于刻画光伏接入对低压配电网电压稳定性的影响路径，并为后续稳定性提升措施提供理论依据。

**【关键词】**：分布式光伏；低压配电网；电压稳定性；潮流反转；电压波动

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.024

## 引言

分布式光伏在城市与乡村快速铺开，使低压配电网面对前所未有的电压变化特征。高渗透率光伏出力随天气快速起伏，使节点电压水平在短时内产生频繁波动；当本地发电量超过负荷需求时，潮流方向出现反转，使传统依赖单向输电构建的电压控制格局受到冲击。由此产生的电压越限与局部波动现象，使配电网运行呈现更强的不确定性。深入关注光伏接入带来的电压升高、波动触发与稳定性弱化现象，有助于理解低压配电网在分布式时代呈现的全新电气特性。

## 1 光伏接入引发的电压稳定性矛盾

分布式光伏在低压配电网中的渗透率不断提高，使传统依赖单向潮流维持的电压平衡结构受到冲击。光伏阵列在晴天高辐照条件下产生大量有功功率，使局部区域的电压水平迅速升高，形成与负荷分布不匹配的电压梯度。当本地发电量超过负荷需求时，反向潮流沿配电网向上级网络回送电能，使末端节点出现电压偏高现象，并影响配电变压器分接头的调节范围<sup>[1]</sup>。此类现象在户用光伏高度集中的区域表现更明显，电压曲线呈现尖峰化趋势，难以依赖传统电压调节手段保持平稳。

光伏出力的随机性进一步加剧电压变化的不确定性。当云层移动导致辐照度短时骤降时，光伏出力呈现快速跌落特性，使节点电压在极短时间内产生明显下滑，形成“升高—骤降”的动态波动过程。这种瞬态变化可能与配电网中负荷的多样性叠加，引发更强的电压摆动，使部分节点电压偏离允许范围，甚至引起频繁的逆变器脱网。光伏与其他分布式电源并存时，还可能因无功分布不均而产生局部电压畸变，使低压配电网的稳定性压力进一步增加。电压敏感性高的末端线路最易受到影响，其电压变化幅度往往远超中间节点。

随着光伏装机规模扩张，高比例接入状态下的电压稳定性矛盾呈现区域化、时段化和负荷关联化等特征。在正午低负荷时段，电压升高现象更普遍；在傍晚负荷集中时，光伏退出导

致的电压回落又十分明显，使电压曲线整体变得更加陡峭。配电网阻抗特性与光伏输出功率之间的交互关系，使电压变化不再仅由传统负荷特性决定，而是呈现受网架结构、并网点位置、光伏容量比例等多因素耦合的复杂特征。此类结构性矛盾，使电压稳定性成为低压配电网在光伏时代面临的核心挑战之一，并推动对电压调节机理及动态行为开展更系统的认识与分析。

## 2 电压波动与越限问题的应对路径

高渗透率光伏接入后，电压波动的频度与幅值不断扩大，使低压配电网面临的约束条件更加严格。光伏并网逆变器在额定功率附近运行时对电压变化极为敏感，短时辐照度起伏使逆变器输出发生快速调整，节点电压随之产生低惯性波动。在弱网架区域，线路阻抗偏大，使电压对功率扰动的响应更加明显，导致越限概率提升<sup>[2]</sup>。为降低此类波动对设备和用户侧电气行为的影响，需在并网点强化无功调节能力，使光伏系统在电压变化过程中保持更稳定的动态响应，并通过合理配置逆变器的电压—无功特性曲线，使功率调节更贴合本地负荷与网架条件。

在电压越限频繁出现的区域，通过优化潮流分布可使越限风险得到有效缓解。传统配电网以单向潮流为基础进行调压控制，面对分布式光伏的反向潮流特性，其固有调节区间难以覆盖高出力工况下的电压抬升程度。通过引入分布式无功补偿装置，可在节点间形成局部电压支撑，改善电压分配结构，使光伏集中的线路获得更高的电压适应性。应用带宽自适应的逆变器电压控制策略，可使系统在不同辐照度变化速率下保持稳定的无功响应，有助于减少快速电压斜率带来的越限现象。随着配电自动化水平提升，分布式测量数据也可用于动态识别薄弱区段，使无功资源调配更加精准。

在高波动场景下，灵活调节技术成为缓解电压越限的重要路径。储能单元具备快速充放电特性，可在光伏出力突增时吸

收多余功率,在出力骤降时补偿节点电压,使电压变化曲线更平滑。配电变压器分接头与电压调节器在配合储能运行时,可形成时序化、层级化的调压体系,使电压调节不再依赖单一设备的响应能力。部分地区采用的基于预测模型的有功抑制策略,也可在短时尺度内对光伏出力做出调节,使节点电压维持在允许范围。通过多种调节手段的协调运行,电压波动与越限问题得以在动态条件下获得持续抑制,使低压配电网在面向高比例光伏的运行环境中具备更强的稳定性支撑。

### 3 电压稳定性影响规律的凝练与提炼

光伏接入规模不断扩大后,低压配电网的电压稳定性呈现出由静态特性向动态行为转变的趋势。节点电压不再只受传统负荷和线路阻抗影响,而是与光伏出力的瞬时变化形成强耦合,使电压随功率波动呈现非线性响应。光伏阵列的发电特性使节点电压在高辐照条件下向上偏移,而在辐照度急速衰减时产生陡降,使电压波形呈现高频扰动特征<sup>[3]</sup>。弱馈线区域因阻抗较大,对光伏功率增减表现出更高的敏感度,使电压变化在空间分布上不均匀。由此产生的区域性电压差异,使配电网整体的稳定性呈现出时段化与节点化特征,表现为局部区域更易出现电压异常扩散的倾向。

动态运行条件下的稳定性规律呈现出显著的功率耦合效应。当光伏出力接近上限并与本地负荷形成差值过大时,潮流反转现象进一步强化电压响应幅度,使某些节点出现持续偏高状态。此类偏高电压在云影快速移动时伴随急剧下降,使电压变化斜率在短时间内呈现明显突变,进而影响逆变器的稳定运行边界,甚至触发并网保护动作。光伏阵列在不同分布区域的

容量差异,使电压变化规律呈现叠加效应,即多个并网点在同一时间段内以不一致的幅度变化,使整体配电网的电压分布呈现非对称性。如果再叠加无功调节能力不足的情况,局部电压畸变将进一步扩大,使系统的静态稳定性与动态稳定性同时受到影响。

在高比例光伏条件下,电压稳定性的形成机制逐渐体现为多物理量、多节点、多时间尺度的综合作用过程。光伏发电的随机性驱动电压产生不同频段的波动,而线路结构与网架拓扑决定这些波动在配电网中的传播强度与覆盖范围。在负荷高峰与低谷交替的时段,电压变化规律又会受到负荷类型、节点分布与功率因数的调节,使稳定性呈现明显的时间序列特征。随着系统进一步向高渗透率演进,电压稳定性不再由单个因素主导,而是由出力特性、潮流方向、无功调节、线路结构等多因素耦合形成的综合特性。围绕这些规律展开的分析,使电压变化趋势、波动触发机制与节点响应行为之间的逻辑关系得以清晰呈现,为理解光伏接入后低压配电网的稳定性演化特征提供更明确的技术基础。

### 4 结语

在高比例分布式光伏接入的条件下,低压配电网的电压行为呈现更强的不确定性与多因素耦合特征,电压升高、波动加剧与越限现象逐渐成为影响运行质量的关键因素。光伏出力的随机性、潮流反转的出现以及节点间差异化的电压响应,使电压稳定性呈现复杂化趋势。围绕电压变化机理、动态特性及关键影响因素的梳理,有助于形成对稳定性规律的系统认知,为提升电压水平的可控性与可靠性奠定扎实基础。

### 参考文献:

- [1] 舒舟,石宇杰,岳龙飞.分布式光伏接入城市配电网承载力计算方法研究[J].电工技术,2025,(24):69-71.
- [2] 陈斌.分布式光伏发电项目建设全过程管理优化研究[J].电气应用,2025,44(12):80-85.
- [3] 梁亚明,杜乃光,俞志云,等.分布式光伏对低压台区线损的影响研究[J].低碳世界,2025,15(12):124-127.