

分布式光伏接入配电网后的电能质量治理与谐波抑制方案分析

作者：赵鑫贤

身份证号：53012719861202101X

摘要：双碳目标推动下，分布式光伏规模化并网成为配电网升级常态，光伏设备依托逆变器并网的非线性特性，易引发电网谐波畸变、电压波动、功率因数偏移等电能质量问题，影响配电网稳定运行与用电设备安全。本文分析分布式光伏并网后配电网典型电能质量缺陷，探究谐波产生的核心机理，对比多种谐波抑制与电能质量治理技术的应用特性，梳理适配不同并网场景的优化方案。研究可为分布式光伏并网电能质量管控、谐波治理工程落地提供技术参考，助力配电网安全、高效、智能化运行。

关键词：分布式光伏；配电网；电能质量；谐波畸变；谐波抑制

一、引言

分布式光伏具有布局灵活、低碳环保、就地消纳的优势，广泛接入城乡低压配电网，有效提升清洁能源利用率。但光伏并网逆变器属于非线性电力电子设备，大规模并网会改变配电网原有潮流分布与电气特性，滋生谐波污染、电压偏差、三相不平衡等问题，降低供电质量。针对性开展电能质量治理与谐波抑制，是破解光伏并网适配难题、保障配电网稳定运行的核心举措。

二、分布式光伏并网后配电网典型电能质量问题

（一）电网谐波畸变超标

谐波污染是分布式光伏并网最突出的电能质量问题，光伏逆变器高频开关换流过程会产生大量3次、5次、7次低次特征谐波与高频谐波。多台光伏设备同时并网运行时，谐波会出现叠加放大效应，导致并网点电流总谐波畸变率超出标准限值。公用电网谐波畸变超标，会增加线路与变压器损耗，引发电气设备发热、绝缘老化，缩短电力设备服役寿命。非线性电力电子设备的大规模接入，是低压配电网谐波污染持续加剧的核心诱因。

（二）电压波动与偏差问题

分布式光伏出力受光照强度、天气变化影响极大，具有显著的随机性与间歇性特征。日间光伏大发时段，大量电能就地并网会抬高配电网末端电压，造成过压偏移；阴雨、夜间无出力时段，电网电压回落偏低，形成大幅电压波动。频繁的电压波动会影响末端用电设备稳定运行，严重时 would 触发电网保护装置误动作，造成局部停电事故。

（三）功率因数偏移与无功失衡

常规分布式光伏并网模式以有功功率输出为主，无功调节能力薄弱。光伏大规模并网后，配电网原有无功补偿装置匹配性下降，易出现无功过剩或无功缺额问题，导致电网功率因数偏低。功率因数不达标会增加电网输送损耗，降低配电网输电效率，同时会产生额外力率电费，增加电网与用户的经济运行成本。

（四）电网谐振风险加剧

配电网原有线路、变压器、补偿电容存在固有阻抗参数，分布式光伏并网引入大量谐波分量后，会改变电网整体阻抗特性。当谐波频率与电网固有频率趋近匹配时，极易引发并联谐振或串联谐振，造成谐波电压、电流急剧放大，损毁并网设备与电网基础设施，给配电网安全运行带来极大隐患。

三、分布式光伏并网谐波产生核心机理

（一）逆变器非线性工作特性

光伏并网发电系统的电能变换核心为逆变器，设备依靠高频脉宽调制技术实现直流电到交流电的转换。开关器件的周期性通断无法实现完美正弦波形输出，会导致输出电流波形畸变，产生固有谐波分量，这是光伏系统谐波产生的源头因素。即便单台逆变器谐波含量符合标准，多机组并网后的谐波叠加效应仍会造成台区整体谐波超标。

（二）光照波动引发工况畸变

光照强度的快速变化会导致光伏输出功率瞬时波动，逆变器工作点频繁切换，动态工况下波形畸变率显著提升，瞬态谐波含量大幅增加。同时云层遮挡、局部

阴影会造成光伏阵列出力不均，加剧逆变器输出波形失衡，进一步放大谐波污染程度，恶化配电网电能质量。

（三）电网背景谐波叠加放大

低压配电网本身存在一定背景谐波，周边变频设备、整流负荷、家用非线性用电设备均会产生谐波。光伏逆变器对电网背景谐波存在放大作用，锁相环动态误差会加剧变流器输出电流畸变，形成谐波叠加放大的恶性循环，导致台区电能质量持续劣化。

四、电能质量治理与谐波抑制核心方案

（一）源头优化：选用高性能并网设备

从谐波产生源头进行管控，优先选用低畸变高频并网逆变器，设备额定工况下电流总谐波畸变率控制在 5% 以内，符合光伏并网逆变器技术规范要求。优化逆变器控制算法，采用虚拟同步机控制策略，消除锁相环动态性能对设备输出的干扰，抑制设备自身谐波产生，弱化电网背景谐波放大效应，从源头降低谐波污染基数。

（二）无源滤波方案：低成本基础谐波治理

无源滤波器由电容、电感、电阻元件组合构成，可针对性滤除 5 次、7 次等固定频次特征谐波，具备结构简单、成本低廉、运行可靠的优势，适用于中小型分布式光伏台区基础治理。通过精准匹配谐波频次设置滤波支路，可有效吸收固定谐波分量，稳定电网波形，改善功率因数，适配谐波频次稳定、畸变程度较低的并网场景。

（三）有源滤波方案：高精度动态治理

有源电力滤波器可实时检测电网谐波电流，主动输出反向补偿电流抵消谐波分量，实现动态精准滤波。该技术可适配谐波频次复杂、波动大的光伏并网场景，兼顾谐波抑制、无功补偿、三相不平衡调节多重功能，治理精度高、响应速度快，可将台区总谐波畸变率稳定控制在标准范围内，是当前光伏并网高阶治理的主流

方案。能够有效应对光伏出力间歇性带来的动态电能质量扰动，适配复杂多变的台区运行工况，综合治理效果显著优于单一无源滤波设备。

（四）混合治理方案：复合型协同优化

采用无源滤波器与有源滤波器结合的混合治理模式，构建高低频协同治理体系。无源滤波器负责滤除低频固定特征谐波，承担基础治理负荷；有源滤波器动态治理高频杂波与波动谐波，兼顾无功与电压优化。该方案可互补两类设备优势，降低治理设备投资成本，提升复杂光伏台区电能质量治理的全面性与稳定性。

（五）系统优化：完善监测与并网管控

搭建电能质量在线监测系统，实时采集并网点电压、电流、谐波、功率因数等参数，实现谐波异常、电压超限问题的实时预警。优化光伏并网布局，合理控制单台区光伏并网容量，避免设备集中并网引发的谐波叠加与潮流紊乱，从系统层面降低电能质量问题发生概率。

五、结论

分布式光伏规模化并网引发的谐波畸变、电压波动、无功失衡等问题，是制约配电网高质量运行的关键因素，谐波叠加放大、设备非线性工作问题是问题产生的核心机理。单一治理方案存在适配局限，需结合台区光伏容量、谐波特征、负荷特性，采用源头设备优化、无源与有源滤波结合、系统监测管控协同的复合型治理方案。通过分层分级开展谐波抑制与电能质量优化，可有效消除光伏并网带来的电网扰动问题，稳定配电网运行参数，提升清洁能源并网消纳能力，为分布式光伏与配电网协同稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1]李刚,黄鑫.分布式光伏并网谐波污染机理及抑制技术研究[J].电力工程技术,2024,43(02):96-101.
- [2]王海涛,陈嘉伟.配电网分布式光伏电能质量问题及综合治理策略[J].电网与清洁能源,2024,40(05):88-93.

[3]张宇,刘青.有源滤波器在光伏并网谐波治理中的应用优化[J].电气应用,2025,44(01):112-117.

[4]赵俊峰,孙浩.高低频混合滤波系统治理光伏并网电能质量研究[J].电力电容器与无功补偿,2024,45(03):76-81.

[5]吴博文.规模化分布式光伏接入配电网的电压和谐波优化控制[J].水电能源科学,2025,43(02):201-205.