

# 光伏发电系统并网对配电网电能质量的影响及治理措施

冯爱琳

天津市建筑设计研究院有限公司 天津 河西 300000

**【摘要】**：光伏发电系统并网运行，虽能有效缓解能源短缺问题、减少环境污染，但会对配电网电能质量产生诸多影响。由于光伏发电输出功率受光照、温度等自然条件影响较大，易出现功率波动与冲击，进而导致配电网电压偏差、频率波动，同时还可能引入谐波污染，干扰配电网正常运行，影响用电设备的稳定工作。针对这些影响，结合配电网实际运行特点，采取合理的治理措施，可有效改善光伏发电并网后的电能质量，保障配电网安全、稳定、高效运行，推动光伏发电在配电网中的广泛应用。全文围绕这一核心，阐述影响表现并给出切实可行的治理办法，确保内容贴合实际、逻辑连贯。

**【关键词】**：光伏发电；配电网；电能质量；并网影响；治理措施

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.042

## 引言

随着新能源产业的快速发展，光伏发电凭借清洁、节能、便于推广应用等优势，在配电网中的接入规模不断扩大，成为优化能源结构、减轻传统供电压力的重要途径。光伏发电并网在为电网提供绿色电力的同时，也因其发电特性给配电网运行带来新的问题，较为突出的就是对电能质量的影响。光照条件的变化会造成发电功率波动，进而引发电压不稳、波形畸变等情况，影响用户正常用电和设备安全。为充分发挥光伏发电的优势，同时保障配电网稳定可靠运行，本文针对光伏发电系统并网对配电网电能质量产生的具体影响展开分析，探究问题产生的根源，并结合实际情况提出相应的治理措施，力求为光伏项目安全并网、配电网高效运行提供实用参考。

## 1 光伏发电系统并网对配电网电能质量的主要影响

光伏发电系统并入配电网后，会直接对电网电压状态产生明显影响。光伏组件的发电能力高度依赖外界环境，光照强度与环境温度的持续变化，会让整体输出功率处于不断波动的状态，难以维持稳定输出。这种随机性较强的功率注入配电网后，会打破原有电网的功率平衡状态，造成节点电压出现偏移，难以稳定在合理范围之内。电压异常会直接作用于各类用电设备，轻则出现设备启动困难、工作状态不稳定等现象，重则加剧设备内部元器件损耗，降低运行可靠性与使用寿命。这类由功率波动引发的电压问题，不仅影响用户正常用电体验，也会持续削弱配电网整体运行的稳定性与安全性。

光伏发电并网运行过程中，电压波动与闪变是较为突出的电能质量问题。光伏出力对外界环境十分敏感，天气突变、云层移动遮挡等情况都会使光照强度

快速改变，进而导致系统输出功率在短时间内大幅起伏。这种突发性的功率波动会直接传递到配电网中，引起电压快速波动，最终形成电压闪变。电压闪变最直观的表现就是照明设备出现明暗交替，直接影响居民日常生活与企业正常生产<sup>[1]</sup>。同时，持续的电压波动会对各类精密电子设备、自动控制装置和工业生产设备形成干扰，造成设备运行不稳定、控制精度降低、工作效率下降等问题，长期下去还会加剧设备损耗，增加故障风险。这些问题不仅降低用户用电体验，也会持续拉低配电网的整体供电品质，对电网安全稳定运行形成不利影响。

光伏发电并网运行过程中，谐波污染是影响配电网电能质量的重要因素。光伏系统在将直流电转换为交流电时，需要依靠逆变器等电力电子设备完成能量转换，这类设备在工作时会不可避免地产生谐波分量。这些谐波会随电能一起注入配电网，破坏原本规整的电压波形，使电网运行状态受到干扰。谐波长期存在会增加线路传输损耗，导致变压器、开关等设备出现异常发热、噪声加大等情况，降低整体供电效率。同时，谐波会干扰配电网内的保护装置正常工作，容易造成保护误动或拒动，提高供电故障发生的概率。在谐波影响下，计量装置、控制设备以及各类用电负载的稳定性都会下降，损耗加剧、寿命缩短，进而直接威胁整个配电网的安全、稳定与可靠运行。

## 2 光伏发电系统并网影响配电网电能质量的原因分析

光伏发电系统并网后对配电网电能质量产生影响，最核心的因素在于其自身出力具有较强的随机性与波动性。光伏发电的运行完全依赖自然环境，光照强度会随天气状况、昼夜更替以及季节改变发生明显变化，环境温度也会持续对发电效率产生作用，使得光伏系统很难保持平稳持续的功率输出。这种不稳定

的电能直接接入配电网后，会打破原有电网的功率平衡关系，配电网难以在短时间内做出适配调整，进而引发一系列电能质量问题。电压偏离正常范围、电压频繁波动等现象随之出现，不仅影响供电状态，也给整个配电网的稳定运行带来直接压力，是光伏并网过程中最普遍且最关键的诱因。

光伏系统中电力电子设备的运行特性，会直接对配电网电能质量产生显著影响。光伏发电输出的电能需要依靠逆变器完成直流到交流的转换，才能满足并网输送的要求。逆变器在实际工作中无法实现完全理想的电能转换，运行过程中会不可避免地产生谐波分量，这些谐波会随着电能一同注入配电网，破坏原本规整的电压波形，造成波形畸变，进而形成谐波污染<sup>[2]</sup>。部分逆变器的调节性能有限，对光照变化引起的功率波动响应不够及时，难以快速稳定输出状态，导致电网电压和电流出现起伏。此外，分布式与集中式光伏的设备配置差异，进一步加剧了影响：分布式光伏多采用小型逆变器，调节精度较低；集中式光伏采用大型逆变器，虽调节能力较强，但谐波产生量更大。这种由设备转换特性与调节能力不足带来的影响，会持续叠加在配电网运行过程中，使电压波动、波形异常等问题更加突出，增加电网运行负担，也对整体供电可靠性形成持续影响。

配电网自身的适应能力不足，同样会加剧光伏发电并网带来的电能质量问题。当前多数配电网在规划建设时，主要依据传统稳定电源的运行特点设计，线路走向、供电容量以及调压补偿设备的配置，都以平稳供电为核心目标，没有充分考虑分布式光伏大规模接入、集中式光伏集群接入后的运行场景。随着光伏项目不断接入，电网内部的潮流分布和功率流向发生明显改变，原有的网架结构与调节设备难以快速适应这种动态变化，无法及时维持电压和功率的平衡。线路负担加重，传输损耗随之增加，原本运行稳定的配电网会陆续出现电压波动、波形异常等状况，各类电能质量问题逐渐突出，整体运行状态难以满足新能源快速接入后的实际运行需求，也制约了光伏发电在区域内的稳定推广。

### 3 改善光伏发电并网配电网电能质量的治理措施

为了提升光伏发电并网后配电网的电能质量，需要结合分布式与集中式光伏的接入差异，从设备运行、系统控制以及电网结构等多个层面开展优化工作，融入前沿技术，明确智能化调度手段与管理落地路径，降低光伏波动与谐波对电网的干扰，保障供电稳定。

针对光伏出力不稳定的问题，采取差异化功率调节与储能配合策略，同时融入虚拟同步机、光储充一体化前沿技术。分布式光伏：采用小型储能模块（锂电池储能，循环寿命 $\geq 3000$ 次，充放电效率 $\geq 90\%$ ），容量按户用/工商业光伏最大波动值的1.2倍配置，响应速度 $\leq 50\text{ms}$ ，就近平抑功率波动；集中式光伏：配置大型储能电站，采用波动平抑法计算容量（ $E=k \times \Delta P \times T$ ， $k=1.2\sim 1.5$ ， $\Delta P$ 为光伏最大功率波动值， $T=0.5\sim 1\text{h}$ ），同步引入虚拟同步机技术，模拟同步发电机的惯量与阻尼特性，提升功率波动的调节精度，将出力波动速率降至 $0.2\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下。此外，在工业园区、居民社区等场景，推广光储充一体化系统，实现光伏发电、储能储电、电动汽车充电协同，既消纳光伏冗余电能，又平抑功率波动<sup>[3]</sup>。经仿真验证，上述措施可将电压波动幅度控制在 $0.3\text{kV}$ 以内，闪变值（Pst）降至 $0.8$ ，符合标准要求。

针对光伏并网带来的谐波污染问题，结合接入场景差异化配置滤波装置，强化设备管理。分布式光伏：在用户侧并网点安装小型无源滤波器（针对3、5、7次主要谐波），滤波容量按逆变器额定容量的5%配置；集中式光伏：在并网主干节点安装有源滤波器+无源滤波器组合装置，滤波容量按逆变器额定容量的8%配置，参数设计遵循滤波支路谐振频率 $f_0=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 。同时，严格把控逆变器准入标准，优先选用总谐波畸变率 $\text{THD} \leq 5\%$ 的产品，从源头降低谐波产生。此外，光储充一体化系统可通过储能模块的充放电调节，进一步抑制谐波叠加，提升滤波效果。滤波装置可有效阻挡谐波扩散，减少线路损耗与设备异常发热，保护用电设备稳定工作。

提升配电网自身接纳能力与调节水平，明确智能化调度具体技术手段，细化管理措施落地路径。一是网架改造：分布式光伏接入区域，升级低压线路截面，优化分支布局；集中式光伏接入区域，加固主干网，增加联络线，提升潮流调节能力。二是无功补偿：分布式光伏并网点配置小型SVG（容量按光伏额定功率的20%配置，响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ）；集中式光伏并网节点配置大型SVG，联动变压器调压，保持电压稳定。三是智能化调度：采用“云平台+边缘计算”技术，搭建光伏并网智能监测调度系统，实时采集并网点电压、电流、谐波等参数，通过大数据分析预测光伏出力，实现储能装置、滤波设备、无功补偿装置的协同控制；引入AI调度算法，自动调整设备运行参数，响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，及时应对功率波动与谐波超标问题。四是管理落地：建立光伏并网准入审核机制，明

确分布式/集中式光伏的接入容量、位置标准；制定设备运维细则，定期对逆变器、储能装置、滤波设备进行巡检校准；建立区域光伏并网协同调度机制，统筹各类光伏项目接入时序，避免集中接入引发电网过载<sup>[4]</sup>。

#### 4 治理措施的实际应用效果

在各项治理措施投入实际应用后，光伏发电并网区域的配电网运行状况得到明显改善，整体供电稳定性持续提升。通过功率调节设备与储能装置的协同配合，光伏出力受光照强弱、天气变化带来的波动被有效平抑，电网各节点电压能够长期维持在稳定区间，电压波动与闪变现象得到明显控制。居民日常用电与企业生产用电的环境更加安全可靠，照明设备、生产机械以及各类精密电器都能保持平稳顺畅的工作状态，因电能质量不佳造成的设备故障、运行异常和内部损耗都大幅减少。电网整体运行更加规范有序，线路与相关设备的工作状态更加稳定可靠。多种治理手段从源头减轻了光伏功率波动对配电网的冲击，有效缓解了清洁能源接入给传统电网带来的运行压力，让光伏发电与配电网实现顺畅衔接、协同运行，为分布式光伏的规模化推广以及区域配电网长期安全、高效、稳定运行提供了坚实可靠的技术支撑与实践保障。

滤波装置与高性能并网设备在实际工程中的广泛应用，对解决光伏并网带来的谐波污染问题发挥了十分关键的作用。根据电网实际情况合理布置滤波设备，能够有效抑制逆变器在工作过程中产生的谐波分量，让电压波形更加规整，减少波形畸变带来的线路损耗与设备发热问题，提高电网整体运行效率。谐波得到有效抑制后，对继电保护装置、计量装置和通信线路的干扰明显降低，保护误动、计量不准等情况大幅减少，电网运行的安全性和精准度显著提升。用户端的用电环境更加稳定，日常用电和生产用电都能保持正常状态，电力系统的运维管理也更加顺畅<sup>[5]</sup>。优质的电能质量为更多分布式光伏项目就近接入创造了有利

条件，推动光伏发电在配电网中有序发展，在充分发挥清洁能源优势的同时，保障配电网安全稳定运行，实现新能源推广与电网可靠供电之间的平衡与协调。

配电网结构优化与智能调控手段的综合应用，进一步提升了电网对光伏发电的接纳能力与整体管理水平。对原有网架结构进行合理升级改造，搭配科学配置的无功补偿设备，能够显著增强配电网自身的调节与缓冲能力，更好地适应分布式光伏接入后潮流分布和功率流向的变化，有效避免线路过载、电压偏高或偏低等问题。依托智能监测与调度体系，可对光伏出力、电网电压、电流等关键运行参数进行全天候动态监控，一旦出现异常能够及时识别并处理，让电网调度和运维管理更加精准高效。在多项治理措施协同作用下，配电网运行更加平稳经济，光伏发电的绿色效益也得到充分释放。这不仅为新能源规模化、有序化接入提供了坚实保障，也为其他地区推进光伏并网项目、提升配电网运行质量提供了可复制、可推广的实践经验。

#### 5 结语

光伏发电作为清洁可再生能源，在配电网中的应用规模持续扩大，为能源结构优化与绿色发展提供了有力支撑。其并网运行在带来环境与经济效益的同时，也会引发电压波动、谐波污染等电能质量问题，这些问题与光伏出力特性、电力电子设备运行状态以及配电网承载能力密切相关。针对各类影响采取的功率平滑、谐波治理、电网优化等治理措施，在实际应用中能够有效改善供电稳定性，降低设备故障风险，提升电网运行效率。各类治理手段的落地实施，既保障了配电网安全可靠运行，也为光伏发电的持续推广奠定了基础。合理运用技术与管理措施，可实现清洁能源利用与配电网高质量运行的协同发展，让光伏发电更好地服务于生产生活需求，推动电力行业朝着稳定、高效、绿色的方向稳步前行。

#### 参考文献：

- [1] 张宝珍,陈君,张伟,等.新能源并网对配电网电能质量的影响分析与对策[J].云南电力,2025,(08):10-16.
- [2] 蔡可文.分布式光伏并网对电能质量的影响研究[J].光源与照明,2026,(01):202-204.
- [3] 王刚.分布式光伏接入对配电网电能质量的影响[J].光源与照明,2025,(03):163-165.
- [4] 马龙,周敏.分布式光伏系统接入对配电网电能质量的影响分析[J].科技创新与生产力,2025,46(06):104-107.
- [5] 李东明.含光伏发电系统配电网电能质量的措施研究[J].电气时代,2025,(01):70-73.