

分布式光伏并网对配电网电能质量的影响分析

彭榕佳 445321198603125234

摘要：随着新能源发电技术的快速发展，分布式光伏并网规模持续扩大，在降低化石能源消耗、缓解电网供电压力的同时，也给传统配电网的电能质量带来了多维度影响。本文从分布式光伏并网的运行特性出发，分析了其对配电网电压偏差、电压波动与闪变、谐波畸变、三相不平衡四个核心电能质量指标的影响机制，结合实际并网场景梳理了影响程度的关键影响因素，并针对性提出了改善电能质量的应对措施，为分布式光伏规模化并网背景下的配电网运行管理提供参考。

关键词：分布式光伏；配电网；电能质量；并网影响

一、引言

在双碳目标的推动下，我国光伏产业发展进入快车道，分布式光伏凭借装机灵活、就近消纳等优势，成为新能源发电布局的重要方向。截至 2024 年上半年，我国分布式光伏装机容量突破 9 亿千瓦，占全国光伏总装机容量的比重超过 60%，大量分布式光伏接入传统放射状结构的配电网，改变了配电网原有单向潮流分布，给配电网的稳定运行带来了一系列新问题，其中电能质量问题是影响分布式光伏并网安全与用户供电可靠性的核心问题之一。因此，明确分布式光伏并网对配电网电能质量的具体影响机制，对保障分布式光伏有序并网、提升配电网供电质量具有重要现实意义。

二、分布式光伏并网的运行特性

分布式光伏主要依托用户侧屋顶、闲置空地分散布局，通过逆变器转换为交流电后接入 10kV 及以下电压等级的配电网，其发电出力完全依赖太阳能辐照强度，具有明显的间歇性与波动性特征：昼夜变化会导致光伏出力从满发降到零，阴天、暴雨等恶劣天气也会造成出力短时间内大幅波动。同时，分布式光伏采用电力电子逆变器作为并网接口，逆变器的开关动作会产生特征谐波，而逆变器自身控制精度、负载波动也会影响输出电能的稳定性。传统配电网设计为单向供电结构，负荷节点的电压由变电站母线向末端逐渐降低，而分布式光伏接入后，会在并网点形成反向潮流，改变配电网原有电压分布规律，进而对整个配电网的电能指标产生影响，影响程度与分布式光伏的接入容量、接入位置、运行模式密切相关。

三、分布式光伏并网对配电网电能质量的具体影响

3.1 电压偏差

电压偏差是衡量电能质量的核心指标，我国国家标准要求 20kV 及以下配电网的电压偏差允许范围为额定电压的 $\pm 7\%$ 。传统配电网中，电压偏差主要由负荷波动引起，电压整体呈现从首端到末端逐渐降低的趋势。当分布式光伏接入配电网后，其发出的功率会抵消一部分负荷消耗的功率，降低配电网线路上的功率损耗，进而抬升并网点及周边节点的电压。当分布式光伏接入容量较小、负荷用电高峰期，光伏出力抬升电压的效应能够抵消一部分线路压降，改善原有配电网末端电压偏低的问题；但如果分布式光伏接入容量过大，或是在中午等负荷水平较低、光伏出力满发的时段，会出现配电网潮流反转，末端节点电压大幅抬升，严重时超出国家标准允许的电压偏差范围，甚至造成过电压跳闸，影响用户用电设备安全。此外，分布式光伏接入位置对电压偏差的影响也十分明显，接入配电网末端的分布式光伏对电压的抬升效应远强于接入首端的光伏，相同容量下末端光伏更易引发电压越限问题。

3.2 电压波动与闪变

电压波动是指电压快速变化偏离额定值的现象，闪变是电压波动引发的人眼对灯光亮度变化的感知，也是衡量电能质量的重要指标。分布式光伏出力的间歇性与波动性是引发配电网电压波动的主要原因：一方面，云层遮挡等气象条件变化会导致光伏出力在短时间内发生大幅变化，比如一片云层飘过光伏阵列，出力可以从 100%额定功率降到 20%以下，云层移开后又快速恢复，这种快速出力波动会引发并网点电压同步波动。另一方面，分布式光伏的启停操作也会引发电压波动，比如每日清晨光伏发电启动、傍晚停机退出，都会造成配电网潮流的突变，带来电压波动。当分布式光伏接入容量占配电网负荷的比重较高时，这种电压波动的幅度会明显增大，严重时引发闪变问题，影响敏感用电设备的正常运行，比如精密电子设备、医疗仪器的工作稳定性都会受到电压波动的干扰。

3.3 谐波畸变

分布式光伏需要通过逆变器将光伏组件产生的直流电转换为符合并网要求的交流电，逆变器属于典型的电力电子装置，其采用脉宽调制技术进行输出控制，开关器件的频繁通断会产生一定量的谐波电流，谐波电流注入配电网后会引发电压谐波畸变，降低电网的电能质量。谐波会增加配电网线路的损耗，导致变压器、电容器等设备过热，加速设备绝缘老化，缩短设备使用寿命，还会干扰继电保护

装置的正常工作，引发保护误动或拒动，威胁配电网运行安全。在实际运行中，如果逆变器的制造质量不佳、控制策略不完善，或是分布式光伏在非正常工况下运行，谐波畸变更严重。

3.4 三相不平衡

我国低压配电网多采用三相四线制供电结构，大量户用分布式光伏接入单相回路，容易引发配电网三相不平衡问题。由于不同用户的光伏安装容量、用电特性存在差异，单相接入的分布式光伏出力不均会导致三相负荷功率偏差增大：如果某一相接的光伏容量较大，在发电高峰时段该相的出力会远高于另外两相，引发三相电压、电流不平衡。三相不平衡会增加配电网的线路损耗和变压器损耗，还会导致异步电机发热，影响电机使用寿命，对电能计量装置的准确性也会产生一定干扰。

四、改善分布式光伏并网后配电网电能质量的应对措施

针对分布式光伏并网带来的各类电能质量问题，可从规划、技术、管理三个层面采取应对措施：在规划层面，合理控制分布式光伏的接入容量与接入位置，对配电网进行承载力评估，避免在配电网末端接入大容量光伏，对单相接入的户用光伏进行统一的相序分配，平衡三相出力；在技术层面，推广应用主动调压技术，利用配电网有载调压变压器、静止无功补偿装置调节电压，抑制电压波动，选用具备低谐波输出能力的优质逆变器，配置有源电力滤波器治理谐波问题，推广分布式光伏储能一体化配置，利用储能平抑光伏出力的波动，降低出力波动对电能质量的影响；在管理层面，建立分布式光伏并网全流程电能质量监测机制，对超标节点及时进行整改，完善分布式光伏并网准入标准，明确电能质量指标要求，保障并网光伏符合电网运行要求。

五、结论

分布式光伏并网对配电网电能质量的影响具有双重性，合理规模与布局的分布式光伏能够改善配电网原有电压偏差问题，而规模化无序接入则会引发电压越限、电压波动、谐波畸变、三相不平衡等一系列电能质量问题，影响配电网的安全稳定运行与用户供电质量。在分布式光伏快速发展的背景下，需要通过合理规划、技术升级与科学管理，充分发挥分布式光伏的清洁能源优势，将其对电能质量的不利影响控制在允许范围之内，实现分布式光伏与配电网的协调发展。

参考文献

- [1] 赵争鸣, 刘东, 鲁宗相. 分布式光伏发电并网对电网影响的研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 1-10.
- [2] 毕天姝, 刘素梅. 分布式光伏接入配电网的电能质量问题及其治理[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 146-154.
- [3] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.