

配电网中分布式光伏并网对电压稳定性的影响研究

李天奇

阜阳电力规划设计院有限公司 安徽 阜阳 236000

【摘要】：随着分布式光伏发电的快速发展，其并网接入逐渐对配电网的电压稳定性产生了显著影响。分布式光伏发电系统的输出波动性、间歇性及其对电网负荷的影响，使得电压波动和不稳定问题日益突出。为了确保配电网的稳定运行，必须深入研究光伏并网对电压稳定性的影响，提出有效的解决方案。通过对分布式光伏接入配电网的电压特性进行分析，探索适当的电压控制方法和技术路径，以降低光伏并网带来的不利影响。考虑到不同运行条件下的电压波动特点，研究对策的提出为分布式光伏的高效并网提供了理论支持和实际应用的依据。

【关键词】：分布式光伏；电压稳定性；配电网；并网影响；电压控制

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.058

引言

随着可再生能源的发展，分布式光伏发电因其具有环境友好、资源丰富等优势，广泛应用于各类电力系统中。尤其是在配电网中，分布式光伏的接入使得传统电力系统的运行模式发生了显著变化。尽管光伏发电有助于缓解电力短缺问题，但其输出电力的波动性和间歇性，对电网的电压稳定性提出了更高要求。电压的波动不仅影响电网的安全运行，还可能导致设备损坏和用户用电质量下降。研究光伏并网对配电网电压稳定性的影响，探索有效的电压控制方法，是当前电力系统领域亟待解决的关键问题。通过对分布式光伏接入后电压波动特性及其影响因素的深入分析，可以为电网调度、优化及电压控制策略提供理论依据，有助于推动光伏发电的可持续发展和智能电网的建设。

1 分布式光伏并网对配电网电压波动的影响

（1）光伏发电的波动性与电网电压的关系

光伏发电系统的输出功率具有较强的波动性，这种波动性主要受日照强度、气象条件、季节变化等因素的影响。随着光伏并网接入配电网，这种波动性会引起电网电压的波动。在分布式光伏系统并网的情况下，电网负荷和光伏发电功率的实时变化直接影响了电压的稳定性。光伏发电的输出功率大幅波动时，可能引起电网的电压超限或低压现象，特别是在光照条件变化迅速或阴天时，电网的电压会受到较大影响。随着光伏并网比例的增加，这种波动性对电网运行的影响越来越显著，可能导致电网电压在不同节点上产生不同幅度的波动，影响电力用户的正常用电。

（2）不同负荷情况下电压波动特性分析

电网电压的波动与负荷的变化密切相关。在低负荷情况下，分布式光伏的发电量可能接近或超过负荷需求，导致电网出现电压升高现象。而在高负荷情况下，光伏发电的输出功率可能无法满足电网需求，尤其是在晚间或阴天，可能出现电压降低的情况。负荷的波动性与光伏发电的波动性相互作用，增

加了电压波动的幅度。在这种情况下，电压调节难度增大，电网电压稳定性的维持变得更加复杂。在实际应用中，需要针对不同负荷条件下的电压波动特性进行分析，并设计相应的电压控制措施，以保证电网在各种负荷条件下的稳定运行。

（3）光伏输出功率变化对电压稳定性的具体影响

光伏发电系统的输出功率受光照强度、天气变化等因素影响较大。尤其在光照快速变化的时段，光伏发电的瞬时功率波动会引起电网电压的剧烈波动。当光伏发电迅速增加时，电网可能出现电压上升现象；而在光伏发电快速下降时，电网电压可能出现下降甚至过低的情况。这种波动性不仅影响电网的正常运行，还可能对电力设备的稳定性产生负面影响，导致设备损坏或系统故障。光伏发电的波动还可能加剧电网调度系统的压力，增加电压控制的难度。如何应对光伏功率变化对电压稳定性的影响，成为配电网运行中的重要课题。

2 配电网电压稳定性的评估方法与指标

（1）电压稳定性的定义与评估指标

电压稳定性是指电网在遭遇扰动时能够维持正常电压水平的能力。在配电网中，电压稳定性是衡量系统运行安全与否的重要指标。其评估通常依赖于几个关键参数，包括电压裕度、电压恢复时间和电压波动范围等。电压裕度是指系统能够承受负荷波动和光伏发电波动而不发生电压崩溃的能力。电压恢复时间则是电网在遭遇扰动后，从低电压状态恢复到正常水平所需要的时间。电压波动范围反映了电压的稳定性，过大的波动范围会影响设备的正常运行和用户用电质量。通过这些指标，可以科学地评估配电网在光伏发电并网后的电压稳定性，并为电压控制策略的制定提供依据。

（2）电压稳定性分析的数学模型

电压稳定性的分析通常通过数学建模实现，常见的分析方法包括潮流分析和动态仿真分析。潮流分析通过建立电网的稳态模型，分析各节点电压的分布和电网中各个环节的电流流动，进而评估电压稳定性。在电网中，节点电压的大小和相位

角的变化对电压稳定性至关重要。动态仿真分析则通过引入时变的负荷变化和光伏发电的波动，对电网进行动态模拟，帮助预测电网在不同情况下的电压响应。通过这些数学模型，可以系统地评估电网的电压稳定性，识别潜在的电压问题，并为电压控制策略的优化提供数据支持。

(3) 基于时域与频域的电压波动分析方法

电压波动的分析方法可以分为时域分析和频域分析两种。时域分析主要关注电压波动的瞬时变化，通常通过监测电网中各节点的电压数据，分析电压随时间变化的趋势。通过时域分析，可以捕捉到电压波动的瞬间特性，例如快速变化的电压跌落或升高等现象。频域分析则侧重于电压波动的频率特性，通过对电压波形进行傅里叶变换，将电压波动分解为不同频率的成分。频域分析有助于识别电压波动的周期性和非周期性波动，尤其是光伏发电所引起的低频波动。通过时域与频域分析相结合，可以全面了解电压波动的规律，为电压控制策略提供有力的数据支撑。

3 光伏并网的电压控制策略

(1) 电压控制方法的分类与特点

电压控制方法主要分为静态控制与动态控制两类。静态控制方法通常通过调整变压器抽头、并网逆变器的电压调节功能等手段，维持电网电压在稳定范围内。该方法较为简单，适用于负荷变化较小的场合。动态控制方法则更注重电网在面对瞬时扰动时的快速响应，通常采用自动调节系统（如自动电压调节器、动态电压恢复装置等）来应对光伏发电波动带来的电压变化。这些方法通过实时监测电网状态，调节电网中的电压水平，从而维持电网的稳定运行。对于分布式光伏并网系统，动态控制方法显得尤为重要，因为光伏发电具有较强的波动性，需要实时的控制手段来保证电压的稳定。

(2) 分布式光伏系统中的动态电压调节

分布式光伏系统中的动态电压调节技术，主要通过智能控制系统来实现。智能控制系统能够根据电网电压的实时变化，自动调整光伏逆变器的输出功率和电压，以减少光伏波动对电压的影响。常见的调节方式包括逆变器电压调节、无功功率调节以及频率调节等。逆变器电压调节是通过改变逆变器的输出电压来调节电网电压，而无功功率调节则通过调整无功功率的输出，来维持电网电压的平衡。频率调节则是在电网负荷和发电功率变化时，通过调整电网频率来稳定电压。这些调节手段的结合，能够实现对光伏发电波动的动态应对，有效提升电网的电压稳定性。

(3) 先进电压控制技术对电压稳定性的保障作用

随着电力系统的智能化发展，越来越多的先进电压控制技术被应用于电网运行中，尤其是在分布式光伏发电并网的背景下。这些技术不仅能够提升电网的电压稳定性，还能在面对光

伏发电波动时提供更加高效的应对措施。基于分布式能源管理系统的电压控制技术，利用实时数据分析和协调控制，能够对多个光伏发电单元和储能设备进行协同调度，实现精准的电压调节，优化电网负荷分配，减少电压波动。电力电子技术的进步，特别是高压直流输电（HVDC）和柔性交流输电系统（FACTS）的应用，为电网提供了更加灵活和可靠的电压调节手段。这些技术能够在电压不稳定的情况下迅速做出反应，调节电压，确保电网的稳定运行，从而增强了电网自我调节和应对外部扰动的能力，有效提高了电压稳定性的保障水平。

4 分布式光伏并网下的电网调度与优化

(1) 光伏并网对电网调度策略的影响

光伏发电并网后，电网的调度策略面临新的挑战。传统的电网调度通常是基于固定负荷和发电计划进行的，而光伏发电的波动性和不确定性使得传统调度策略难以应对。光伏并网导致电网负荷和发电能力的变化更加频繁，调度人员需要实时掌握光伏发电的运行状态，以便在发电波动时进行及时的调整。电网调度需要引入更为灵活的机制，包括对光伏发电预测的强化、储能设备的合理调度，以及实时电网监控与调节的能力。这些措施能够有效减少光伏发电波动对电网调度带来的影响，确保电网的稳定运行。

(2) 基于优化算法的电压稳定性提升方法

基于优化算法的电压稳定性提升方法，通过建立数学模型和算法框架，优化电网中的各项调度决策，从而达到提升电压稳定性的目的。常见的优化算法包括遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法等。这些算法能够在多变量约束条件下，找到最优的电压调节策略。利用遗传算法优化光伏发电并网后的无功功率调节，以减少电压波动；或使用粒子群算法对电网调度进行优化，确保电压波动控制在合理范围内。通过优化算法，可以系统地分析光伏发电对电网电压稳定性造成的影响，并提出切实可行的调节措施，从而提高电网的稳定性。

(3) 分布式光伏系统与储能设备协同作用分析

分布式光伏系统与储能设备的协同作用，是提升电网电压稳定性的重要手段。储能设备能够在光伏发电波动时，迅速提供电力支持，缓解电网电压的波动。通过储能系统的调度，能够平滑光伏发电的波动，减小电压波动幅度。储能设备还能在光伏发电过剩时进行能量存储，在光伏发电不足时释放储存的能量，从而确保电网电压的平稳运行。分布式光伏与储能设备的协同作用不仅提高了电网的自我调节能力，还有效增强了电网应对突发事件的能力，有助于提升电网的长期稳定性。

5 提升配电网电压稳定性的技术方案与前景

(1) 智能电网对电压稳定性的支持作用

智能电网技术的应用，使得电网在面对各种扰动时能够实现自动调节和优化运行。智能电网通过引入传感器、通信技术

和控制系统,实现对电网状态的实时监测和远程调节。对于光伏发电并网后电压波动问题,智能电网能够通过动态调节电网中各个环节的电压和功率,快速应对光伏发电的不稳定性。智能电网还能够通过数据分析和预测技术,提前预判电网可能出现的电压问题,并采取相应的控制措施。这些智能化手段显著提高了电网在光伏发电接入后的电压稳定性,推动了智能电网在电压控制中的广泛应用。

(2) 电力市场机制对光伏发电并网的推动作用

电力市场机制的完善为光伏发电并网提供了有力支持。在市场化机制下,电力公司和电网企业可以通过经济激励手段,促使光伏发电企业参与电网调度和电压控制。光伏发电企业可以根据电网需求进行发电调度,在电网负荷较低时提高输出功率,在电网负荷较高时减少输出功率,从而平滑电压波动。储能市场的建设也为电网提供了额外的调节手段。通过完善的电力市场机制,可以实现分布式光伏发电和电网之间的协同调度,有效提升电网电压稳定性。

(3) 未来光伏发电与电网电压稳定性技术的发展趋势

未来,随着光伏发电技术的不断进步和电网技术的不断发

展,光伏发电与电网电压稳定性技术将呈现出更多创新趋势。智能电网技术的广泛应用将进一步提升电网对光伏发电波动的适应能力;先进的储能技术将使得电网在光伏发电波动时能够更加灵活地进行调节。随着电力电子技术的不断进步,新的电压控制设备将得到广泛应用,这些设备将进一步提高电网电压稳定性的保障水平。未来的电网将在更加复杂和多变的环境下运行,电压稳定性技术的不断创新将为电网的可靠性和安全性提供坚实的保障。

6 结语

本文对分布式光伏发电并网对配电网电压稳定性的影响进行了详细的分析,探讨了光伏发电波动性与电网电压之间的关系,并提出了相应的电压控制策略。通过研究光伏发电对电网电压稳定性的影响,结合电压稳定性评估方法和优化控制技术,提出了针对性强的电网调度与优化方案。随着智能电网技术的发展,分布式光伏与储能设备的协同作用为电压稳定性提供了新的保障。未来,随着技术的不断创新和完善,电网电压稳定性将得到更好地控制和优化,为分布式光伏的持续发展创造更加稳定的电力环境。

参考文献:

- [1] 李强,王刚.分布式光伏发电接入配电网的电压稳定性分析[J].电力系统自动化,2022,46(1):88-96.
- [2] 张博,高建军.光伏发电并网对电网电压稳定性的影响及控制策略[J].电力科学与技术学报,2023,38(4):45-51.
- [3] 王涛,刘冰.基于动态仿真分析的分布式光伏发电并网电压控制方法研究[J].电气工程学报,2021,37(6):109-116.
- [4] 陈晓明,朱志强.电压稳定性评估与光伏发电并网调度优化研究[J].电力系统与自动化学报,2020,32(3):57-64.
- [5] 张敏,王文斌.智能电网中分布式光伏并网的电压控制方法[J].电力设备,2021,39(5):122-129.