

配电网分布式电源接入对电能质量的影响及治理策略研究

杨宇轩

国网宁夏电力有限公司彭阳县供电公司 宁夏 固原 756500

摘要：随着新型电力系统建设推进，分布式电源规模化接入配电网成为能源转型重要趋势，但也引发电压偏差、谐波污染、三相不平衡等电能质量问题，制约电网安全高效运行。本文阐述分布式电源类型、配电网结构及二者交互机理，系统分析接入对电能质量的具体影响及关键影响因素，从接入规划、技术治理、运行控制、监测管控四个维度，提出针对性治理策略，为解决分布式电源接入带来的电能质量难题、推动配电网高质量发展提供理论与实践支撑。

关键词：配电网；分布式电源；接入；电能质量；影响；治理策略

引言：配电网作为电力供应“最后一公里”，是分布式电源消纳的核心载体，其电能质量直接关系到用电设备安全与能源利用效率。当前，可再生能源类分布式电源快速普及，但其随机性、波动性及无序接入，对配电网电能质量造成显著冲击，不符合电能质量管理相关规范要求。在此背景下，深入研究分布式电源接入对电能质量的影响，探索科学有效的治理策略，对提升配电网承载能力、助力清洁低碳能源转型、保障电力系统安全稳定运行具有重要现实意义。

1 配电网分布式电源接入基础理论

1.1 分布式电源的类型及特性

(1) 可再生能源类分布式电源：太阳能光伏发电、风力发电是当前应用最广泛的类型，核心特性体现为随机性与波动性。太阳能光伏发电依赖光照条件，受昼夜、季节、天气影响显著，输出功率随光照强度实时变化，稳定性较差；风力发电则受风速、风向波动影响，功率输出存在明显起伏，且难以精准预测，二者接入配电网后，易对电网功率平衡造成冲击。(2) 其他类型分布式电源：燃气轮机、燃料电池属于清洁高效的分布式电源，核心特性为稳定性与环保性。燃气轮机启动速度快、调节灵活，输出功率稳定，可快速响应电网负荷变化，适合作为调峰电源；燃料电池能量转换效率高，运行过程中无污染物排放，且输出功率平稳，对电网的冲击较小，可实现能源的高效清洁利用。

1.2 配电网的结构与电能质量标准

(1) 配电网的典型结构：以中低压配电网为主，拓扑结构多为辐射状，部分区域采用环网结构保障供电可靠性。中压配电网（10kV-35kV）负责区域供电分配，

低压配电网（220V-380V）直接对接用户负荷；负荷分布呈现点多面广、分散不均的特点，居民、商业、工业负荷混合分布，且负荷高峰时段集中，波动幅度较大^[1]。

(2) 电能质量核心标准：需严格遵循国家相关规范，其中电压偏差限值为 $\pm 7\%$ ，确保用电设备正常运行；谐波总畸变率低压侧不超过5%，各次谐波有明确限值，避免谐波干扰设备工作；电压波动与闪变需控制在规定的范围内，防止影响敏感设备稳定性；三相不平衡度限值为2%，减少不平衡负荷对电网损耗及设备寿命的影响。

1.3 分布式电源接入配电网的方式与原则

(1) 主要接入方式：分为并网、孤岛及混合运行三种模式。并网模式是最常用方式，分布式电源与配电网实时连接，多余电能可上网；孤岛模式可在电网故障时独立供电，保障关键负荷用电；混合运行模式结合二者优势，灵活切换运行状态。接入位置优先选择负荷中心，容量需结合配电网承载能力合理选择，避免过载。

(2) 接入原则：核心是符合电能质量标准，确保接入后不影响电网电能质量；同时保障电网安全稳定运行，防止分布式电源故障扩散至主网；兼顾经济性与环保性，在降低接入成本的同时，优先选择清洁低碳电源，实现能源高效利用。

1.4 分布式电源与配电网的交互机理

(1) 功率交互：传统配电网为单向潮流，分布式电源接入后形成双向潮流，当电源输出功率大于本地负荷时，多余功率反向流入上级电网，可能导致配电网电压升高、线损变化；当电源输出不足时，电网向负荷及分布式电源补充供电，需合理调控潮流，避免电网运行异常^[2]。(2) 电气特性交互：分布式电源多通过电力电子

装置接入配电网，其开关动作、控制策略会与配电网产生相互作用。电力电子装置的快速响应的特性可辅助调节电网电压、频率，但也可能产生谐波、电压暂降等问题；配电网的电压、频率变化也会影响电力电子装置的运行稳定性，二者需协同匹配。

2 配电网分布式电源接入对电能质量的影响分析

2.1 对电压质量的影响

(1) 电压偏差：分布式电源接入后，其出力波动是导致接入点电压偏差的核心原因。当分布式电源出力增大且超过本地负荷需求时，多余功率会反向流入配电网，导致接入点及周边节点电压升高；当出力骤降或停运时，配电网需向负荷补充供电，接入点电压会随之降低。影响因素主要包括电源出力波动幅度、接入容量、接入位置，以及配电网的线路阻抗——接入容量越大、线路阻抗越高，电压偏差越明显；接入负荷中心可有效缓解电压偏差问题。(2) 电压波动与闪变：可再生能源（太阳能、风能）的出力突变是引发电压波动与闪变的主要诱因。由于光照、风速的瞬时变化，分布式电源输出功率会短时间内剧烈波动，导致配电网线路电流快速变化，进而引起接入点电压波动。这种波动会产生闪变，对敏感负荷（如精密仪器、电子设备）造成严重危害，导致设备运行不稳定、测量精度下降，同时影响居民用电体验，甚至损坏用电设备。

2.2 对谐波质量的影响

(1) 谐波产生机理：当前多数分布式电源（如光伏、风电）需通过电力电子变流器接入配电网，而变流器的非线性特性是产生谐波的主要原因。变流器在能量转换过程中，会产生大量奇次谐波（如3次、5次、7次），部分设备还会产生偶次谐波，这些谐波会注入配电网，造成电网谐波污染，打破配电网的正弦电压、电流波形平衡^[3]。(2) 谐波危害：谐波对配电网及用电设备危害显著。对配电设备而言，谐波会增加变压器、线路的损耗，加速设备老化，缩短使用寿命，甚至引发设备过热、绝缘损坏等故障；对敏感负荷（如计算机、医疗设备、精密机床），谐波会干扰其正常运行，导致设备误动作、数据丢失；同时，谐波还会影响电能计量的准确性，增加电网运行成本，严重时可能引发电网谐振，威胁电网安全稳定。

2.3 对三相不平衡的影响

(1) 不平衡产生原因：配电网分布式电源接入导致三相不平衡的主要原因有两点，一是大量单相分布式电源（如居民屋顶光伏）的无序接入，使得三相电源容量分配不均，打破三相电流平衡；二是配电网本身负荷

分布不均，分布式电源接入后，若接入位置集中在某一相，会进一步加剧三相负荷与电源的失衡，导致三相电压、电流出现差值。(2) 不平衡危害：三相不平衡会给配电网及用电设备带来诸多不利影响。一方面，会增加线路和变压器的损耗，降低电网运行效率，浪费电能；另一方面，会影响三相异步电机等设备的正常运行，导致电机产生附加转矩和振动，加速电机磨损，降低电机出力和使用寿命，严重时还会引发电机过热、烧毁等故障，影响供电可靠性。

2.4 影响程度的关键影响因素

(1) 分布式电源自身因素：电源类型、容量、接入位置直接决定影响程度。可再生能源类电源（光伏、风电）因出力波动大，对电能质量的影响远大于燃气轮机、燃料电池等稳定类电源；接入容量越大，对电压、谐波的影响越显著；接入线路末端比接入负荷中心，更容易引发电压偏差和波动。(2) 配电网自身因素：网架结构、负荷特性、运行方式也会影响电能质量受干扰程度。辐射状配电网抗干扰能力弱，环网结构可有效缓解影响；负荷密度高、敏感负荷集中的区域，电能质量受影响更明显；配电网运行方式的切换（如并网与孤岛模式切换），也会加剧电能质量波动，合理的运行调控可降低影响程度。

3 配电网分布式电源接入电能质量治理策略

3.1 接入规划阶段的预防策略

(1) 接入位置与容量优化：核心是基于配电网潮流分布，采用科学的规划方法，从源头降低分布式电源接入对电能质量的影响。规划过程中，需结合配电网拓扑结构、线路阻抗、负荷分布特点，通过潮流计算模拟不同接入位置、不同容量下的电网运行状态，优先选择负荷中心作为接入点，使分布式电源出力能够就近消纳，减少功率反向流动引发的电压偏差；同时，根据配电网承载能力，合理限定接入容量，避免单一点接入容量过大导致的潮流失衡、电压波动等问题，实现电源容量与电网负荷、网架结构的协同匹配。(2) 接入模式优化：需结合配电网负荷特性、分布式电源类型，选择合适的并网运行模式，提升电能质量稳定性。对于出力稳定的分布式电源（如燃气轮机、燃料电池），优先采用全额并网模式，确保功率稳定输出，辅助调节电网负荷平衡；对于出力波动较大的可再生能源电源（如光伏、风电），可采用“并网+储能”混合运行模式，通过储能设备平抑出力波动，避免对电网造成冲击；针对负荷波动较大的区域，可采用孤岛与并网模式灵活切换的方式，在电网故障时保障关键负荷供电，同时减少并网运行时

的电能质量干扰^[4]。

3.2 技术层面的治理策略

(1) 谐波治理：通过无源滤波器与有源滤波器协同配置，解决电力电子变流器带来的谐波污染。无源滤波器结构简单、成本较低，通过电容、电感、电阻组合，针对性滤除特定次数谐波，适用于谐波含量稳定的场景；有源滤波器响应迅速、滤波精准，可实时检测谐波分量并产生反向补偿电流，适用于谐波波动较大的场景，二者结合实现全频段谐波治理，确保谐波达标。

(2) 电压调节：采用静止无功补偿器（SVC）与静止同步补偿器（STATCOM），解决出力波动引发的电压问题。SVC通过调节无功功率输出，快速补偿电网无功缺口，稳定接入点电压，适用于中低压配电网，运行可靠、成本适中；STATCOM响应更快、调节精度更高，可实现无功功率连续可调，既能稳定电压，又能抑制闪变，适用于电压质量要求高、负荷波动剧烈的区域。

(3) 三相平衡治理：通过负荷分配优化与平衡控制技术，解决单相电源接入及负荷不均导致的三相不平衡。结合三相负荷分布，合理规划单相电源接入相位，避免集中接入某一相，同时调整负荷接入方式，实现三相负荷均衡；加装三相平衡装置，实时检测电压、电流差值，自动调节功率分配，补偿不平衡电流，降低不平衡度，减少线路损耗。

3.3 运行控制层面的优化策略

(1) 分布式电源出力控制：通过采用先进的控制算法，平滑可再生能源电源的出力波动，提升电能质量稳定性。常用的控制算法包括最大功率点跟踪（MPPT）优化算法、模糊控制算法、模型预测控制算法等，可根据光照、风速等环境参数的变化，实时调整电源出力，避免出力骤升骤降；同时，结合储能设备的充放电控制，将多余的电能储存起来，在电源出力不足时释放，实现出力的平稳输出，减少对配电网电能质量的干扰^[5]。

(2) 配电网协同调度：构建多电源与负荷的协同优化运行体系，实现分布式电源、储能设备、电网负荷的协同管控。通过调度系统实时采集各分布式电源出力、电网负荷、电能质量等数据，采用协同优化算法，合理分配各电源的出力，协调储能设备的充放电节奏，实现电源出力与负荷需求的动态平衡；同时，针对不同类型的负荷，采用差异化调度策略，优先保障敏感负荷的用电质

量，提升配电网整体运行稳定性和电能质量水平。

3.4 监测与管控体系建设

(1) 电能质量在线监测：科学布置监测点，完善数据采集方法，实现电能质量的实时监测与精准分析。监测点应优先布置在分布式电源接入点、配电网关键点、敏感负荷集中区域，覆盖电压偏差、谐波、电压波动与闪变、三相不平衡等核心电能质量指标；采用高精度监测设备，实时采集电能质量数据，通过无线通信技术将数据传输至监控中心，实现数据的实时汇总、分析与存储，为电能质量治理提供数据支撑。(2) 管控机制：建立基于监测数据的实时调控与异常处理机制，确保电能质量问题及时发现、快速解决。监控中心对采集的电能质量数据进行实时分析，当检测到指标超标时，自动发出预警信号，同时启动相应的调控措施，如调整分布式电源出力、控制补偿装置运行、切换运行模式等；建立异常处理流程，明确责任分工，对电能质量异常情况进行快速排查、处置，避免问题扩大，保障配电网安全稳定运行，持续提升电能质量。

结束语

本文围绕配电网分布式电源接入的电能质量影响及治理展开系统研究，明确了不同类型分布式电源对接入点电压、谐波、三相平衡的具体影响，梳理了电源自身与配电网侧的关键影响因素，构建了全流程治理体系。研究表明，科学的接入规划、精准的技术治理与高效的运行管控相结合，可有效解决电能质量问题。未来可结合配电网数字化转型，进一步优化治理技术，推动分布式电源与配电网协同高效发展，助力新型电力系统构建。

参考文献

- [1]赵政洲,郑天.分布式电源并网对配电网电能质量的影响[J].光源与照明,2024,(06):174-176.
- [2]李晔.分布式光伏发电接入对配电网电能质量的影响分析[J].大众用电,2024,39(03):35-36.
- [3]杨壮.基于分布式电源接入的配电网电能质量改善措施分析[J].光源与照明,2022,(11):170-172.
- [4]孙宇轩.分布式电源接入配电网的谐波特性及治理措施研究[J].电网技术,2025,49(3):987-994.
- [5]董开松.分布式电源接入配电网的规划方法及关键技术研究[J].电力工程技术,2023,32(02):87-93.