

新能源并网下配电网电能质量优化控制策略研究

王辉

泰安天贶城发运营管理有限公司 山东省泰安市 271000

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21620

[摘要] 随着风电、光伏等分布式新能源大规模并网，配电网由传统单向辐射型网络转变为多源双向流动的有源网络，新能源出力的随机性、波动性与间歇性引发电压偏移、谐波畸变、功率因数偏低、电压波动闪变等一系列电能质量问题，严重影响配电网安全稳定运行与用户用电可靠性。本文系统分析新能源并网对配电网电能质量的扰动机理，梳理传统电能质量治理技术的局限性，针对性提出源网储协同的分层优化控制策略，融合无功动态补偿、谐波协同治理、储能平抑波动等技术，搭建多目标优化控制模型。通过仿真验证，该策略可有效抑制配电网电能质量扰动，改善电压稳定性、降低谐波畸变率，提升新能源消纳能力与配电网运行经济性，为新型电力系统下配电网电能质量精细化治理提供技术参考。

[关键词] 新能源并网；配电网；电能质量；优化控制；源网储协同

引言

在双碳目标驱动下，我国新能源产业高速发展，分布式光伏、分散式风电等新能源电源大量接入中低压配电网，彻底改变了传统配电网潮流单向、稳定、可控的运行特征，有源配电网成为电力系统发展的主流形态。新能源发电依托气象条件运行，出力存在极强的随机性与不确定性，大规模并网后会打破配电网原有功率平衡与电压分布规律，引发各类电能质量扰动问题。电能质量是配电网安全、经济、高效运行的核心指标，优质的电能质量是新型电力系统建设的重要基础。当前传统配电网电能质量治理多采用无源滤波、固定无功补偿等被动治理方式，存在响应滞后、适配性差、无法适配新能源动态扰动等短板，难以满足高比例新能源并网下的电能质量治理需求。因此，深入剖析新能源并网引发的电能质量问题机理，研究精准、高效、动态的电能质量优化控制策略，实现扰动主动抑制、电能质量全域优化，对提升有源配电网运行稳定性、推动新能源高效消纳具有重要的工程价值与现实意义。

一、新能源并网下配电网电能质量扰动类型及机理

风电、光伏等新能源并网对配电网电能质量的扰动，主要源于电源出力特性与并网设备特性两大维度，核心扰动类型包含电压偏移、谐波畸变、电压波动与闪变等各类问题的产生机理具有显著差异化特征。

1 电压偏移问题

传统配电网潮流由变电站向负荷单向流动，电压沿馈线

逐步衰减，电压分布规律稳定。新能源分布式并网后，局部区域功率反向流动，当新能源出力大于本地负荷时，多余功率向上级电网倒送，导致配电网节点电压异常抬升，出现过电压问题；而在光照不足、无风天气下，新能源出力骤降，电网需补充大量功率，易造成节点电压跌落，引发欠电压问题。同时，新能源出力的昼夜、季节波动，使得配电网电压始终处于动态波动状态，电压偏移超标问题频发，且集中发生在新能源集中并网台区，是当前配电网最突出的电能质量问题之一。

2 谐波畸变问题

新能源并网需依托逆变器、变流器等电力电子设备实现交直流转换与并网调控，这类非线性电力设备在运行过程中会产生3次、5次、7次等低次谐波与高频谐波，注入配电网后造成电压、电流波形畸变。相较于集中式电网谐波，分布式新能源并网产生的谐波具有分散性、随机性、叠加性特征，多台新能源谐波叠加后，会大幅提升配电网谐波总畸变率。谐波超标会增加电网线路、变压器的有功损耗，引发设备谐振故障，干扰继电保护装置精准动作，严重威胁配电网运行安全。

3 电压波动与闪变

光伏发电受云层遮挡、光照强度变化影响，出力可在短时间内发生剧烈波动；风电受风速、风向突变影响，出力波动幅度大、频次高。新能源出力的快速动态变化会直接导致配电网节点功率频繁波动，引发电压快速升降，造成电压波

动与闪变现象。在新能源高密度并网区域，该问题尤为突出，会导致照明设备频闪、电机转速不稳定，影响工农业生产与居民用电质量，严重时会造成敏感用电设备故障停机^[1]。

二、传统电能质量治理技术及局限性

当前配电网主流电能质量治理技术主要分为无源治理与有源治理两类，长期以来在传统无源配电网中发挥了良好的治理效果，但在高比例新能源并网场景下，各类技术均存在明显短板，无法实现动态、精准治理。

1 传统无源治理技术

无源治理技术以并联电容器、无源滤波器为核心，主要用于补偿固定无功、滤除特定频次谐波，具有结构简单、成本低廉、运行可靠的优势，广泛应用于传统配电网台区。但该技术为静态治理方式，补偿容量、滤波参数固定，无法跟随新能源出力动态变化进行实时调节。当新能源出力大幅波动时，易出现无功过补偿或欠补偿问题，且无源滤波器仅能针对固定频次谐波治理，无法适配新能源并网产生的随机广谱谐波，治理灵活性、适配性极差。

2 传统有源治理技术

有源电力滤波器、静止无功补偿器等有源治理设备，可实现动态无功补偿与谐波治理，响应速度较快，相较于无源设备治理效果显著提升。但传统有源治理设备多为单点独立治理模式，仅能对安装点位的电能质量问题进行局部优化，无法实现配电网全域协同调控。同时，设备运行未考虑新能源出力时序特性，无法预判电能质量扰动趋势，仅能实现事后被动治理，治理滞后性明显，且多设备独立运行易出现调控冲突，整体治理效率偏低。

3 整体治理体系短板

除单一设备局限性外，传统治理体系存在结构性缺陷。一是治理模式碎片化，无功补偿、谐波治理、电压调控分模块独立开展，未实现多维度电能质量问题协同治理；二是源网荷储协同性不足，未充分利用新能源、储能设备的可调潜力，过度依赖专用治理设备，治理成本高、资源利用率低；三是缺乏动态优化调控机制，无法适配新能源出力随机波动特性，难以实现电能质量的常态化、精细化管控^[2]。

三、新能源并网下电能质量优化控制策略

针对新能源并网引发的多维度电能质量问题及传统治理技术的短板，本文构建源网储分层协同、多目标动态优化的

电能质量控制策略，整合新能源并网变流器、储能系统、有源治理设备的调控能力，实现电压、谐波、无功、三相不平衡的全域协同治理，兼顾治理效果、运行经济性与新能源消纳能力^[3]。

1 分层协同控制架构设计

搭建“上层全局调度、中层区域调控、下层设备执行”的三层协同控制架构，实现配电网电能质量分级精准治理。上层为配电网调度层，依托电网实时监测数据，采集各节点电压、电流、功率、谐波数据及新能源出力、负荷波动信息，通过大数据分析预判电能质量扰动趋势，制定全域优化调控指令，实现全局功率平衡与电压统筹调控。中层为区域台区调控层，以新能源集中并网台区为单元，整合区域内光伏、风电、储能、无功补偿设备资源，接收上层调度指令，结合区域实时运行状态，制定本地化调控方案，解决区域内电压波动、谐波叠加。下层为设备执行层，包含新能源并网变流器、储能装置、有源滤波器、静止同步补偿器等设备，精准执行调控指令，完成无功动态补偿、谐波抑制、功率平抑等具体治理动作。三级架构层层联动、协同配合，彻底解决传统治理模式碎片化、滞后性问题。

2 核心优化控制策略

2.1 动态无功优化调压策略

针对新能源出力波动引发的电压偏移、电压波动问题，充分挖掘新能源并网变流器的无功调节潜力，结合静止同步补偿器实现动态无功协同调压。新能源并网变流器在不影响有功输出的前提下，可实时调节无功输出，轻度电压波动时，通过变流器快速响应，微调无功功率，平抑电压小幅震荡；当出现大幅电压越限时，联动静止同步补偿器进行大容量无功补偿，过电压时吸收系统过剩无功，欠电压时向系统注入无功，快速修正节点电压偏差。同时，引入电压灵敏度算法，根据各节点无功扰动对电压的影响程度，差异化分配无功补偿容量，优先调控敏感节点，提升调压精准度，将配电网节点电压稳定在额定允许范围内。

2.2 多设备协同谐波治理策略

针对新能源并网谐波分散、随机、广谱的特征，采用“无源滤波保底、有源滤波精治、变流器协同抑波”的联合治理模式。在新能源集中并网台区配置无源滤波器，针对性滤除3次、5次等固定低次谐波，降低基础谐波含量；依托有源电

力滤波器实时监测电网谐波变化，动态补偿随机高频谐波与残余谐波，解决谐波动态波动问题；优化新能源并网变流器控制算法，改进 PWM 调制策略，从源头抑制设备自身产生的谐波，实现谐波源头治理、过程管控、末端补偿的全流程治理。多设备协同运行，可有效降低配电网谐波总畸变率，避免单一设备治理盲区。

2.3 储能系统功率平抑优化策略

储能系统具备快速充放电、功率双向调节的优势，是平抑新能源出力波动、稳定电能质量的核心设备。本文采用自适应储能充放电控制策略，实时采集新能源出力与本地负荷数据，动态修正储能调控功率。当新能源出力骤增、功率过剩时，储能及时充电，吸纳过剩功率，避免功率倒送引发的过电压问题；当新能源出力骤降、功率缺口较大时，储能快速放电，补充系统功率，稳定节点电压，抑制电压闪变^[4]。同时，设置储能充放电阈值与启停保护机制，避免储能频繁启停、过充过放，延长设备使用寿命，兼顾波动平抑效果与设备运行经济性。

3. 多目标优化控制模型构建

以电能质量最优、运行损耗最小、治理成本最低为多目标，构建配电网电能质量优化控制模型。目标函数包含电压偏移最小、谐波总畸变率最低、电网有功损耗最小、设备运行成本最低四项指标。约束条件包含节点电压约束、谐波限值约束、设备容量约束、功率平衡约束、储能充放电约束，确保调控过程符合电网安全运行规范。采用改进粒子群算法对模型进行求解，优化各设备实时出力与调控参数，实现多维度电能质量问题协同最优治理^[5]。

四，仿真验证与结果分析

1 仿真模型搭建

依托 MATLAB/Simulink 仿真平台，搭建含分布式光伏、风电、储能的 10kV 配电网仿真模型，模型包含 6 个配电台区、分布式光伏总装机容量 2MW、分散式风电装机容量 1MW、储能容量 500kWh，接入常规工业与居民负荷。设置仿真场景：模拟日间光照波动、风速突变工况，对比传统治理策略与本文优化策略下的配电网电能质量指标，核心监测节点电压偏移、谐波总畸变率、电压波动度、三项核心指标^[6]。

2 仿真结果分析

仿真结果表明，相较于传统治理策略，本文所提优化控

制策略治理效果提升显著。电压指标方面，传统策略下节点电压最大偏移量达 7.2%，超出国家标准允许范围，优化策略实施后，电压最大偏移量降至 2.1%，电压波动幅度大幅缩小，无过电压、欠电压问题出现。谐波治理方面，传统策略下电网谐波总畸变率最高达 5.8%，优化策略可将谐波总畸变率稳定控制在 2.5% 以内，谐波抑制效果显著。电压闪变与三相不平衡方面，优化策略有效平抑了新能源出力波动引发的电压闪变，将三相不平衡度控制在 1.3% 以下，完全满足国家电能质量标准要求^[7]。

5 结论

本文针对新能源大规模并网引发的配电网电能质量恶化问题，系统剖析了电压偏移、谐波畸变、电压波动闪变、三相不平衡四大核心问题的产生机理，梳理了传统无源、有源治理技术的局限性，构建了源网储三层协同的多目标电能质量优化控制策略。通过整合新能源并网设备、储能系统、有源治理设备的调控能力，实现了电能质量问题的源头防控、动态调控、全域治理，有效解决了传统治理模式滞后性、碎片化、适配性差的问题。仿真验证表明，该策略可显著优化配电网各项电能质量指标，降低电网运行损耗，提升新能源消纳能力，兼具安全性与经济性。

【参考文献】

- [1] 张文卓. 新能源并网对配电网电压稳定性的影响及优化策略研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2026, (2): 94-96.
- [2] 周智丰. 新能源并网对配电网电能质量的影响分析与对策[J]. 电力设备管理, 2025, (23): 74-76.
- [3] 李大帅. 测绘地理信息技术在全域土地综合整治中的应用[J]. 房地产世界, 2025, (23): 161-163.
- [4] 赵晓阳. 新能源并网背景下配电网谐波谐振风险分析[J]. 建设科技, 2025, (S1): 142-144.
- [5] 杨娜. 基于机器学习的新能源并网下配电网综合控制策略研究[J]. 电力设备管理, 2025, (17): 150-152.
- [6] 刘少君. 基于机器学习的新能源并网下配电网电压控制策略优化研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (4): 34-36+47.
- [7] 王亚楠, 郁华, 曾恕程. 新能源并网下主动配电网新能源承载力评估指标研究[J]. 电力设备管理, 2025, (3): 45-47.

作者简介：王辉（1997 年 6-），女，汉族，山东泰安人，本科，助理工程师，研究方向：电力工程。