分布式电源接入下输配电网架优化规划研究

杨 悦

（国网江苏省电力有限公司扬中市供电分公司，江苏 扬中 212200）

摘 要 随着新能源发电技术迭代以及电力系统低碳转型推进，风电、光伏、微型燃气轮机等分布式电源装机规模持续扩容，已经成为输配电网电能供给的关键组成内容。以往输配电网架以单向潮流、集中供电为架构设计理念，网架结构、设备参数、运行模式均适配常规火电集中并网的供电场景。本文从技术层面出发分析分布式电源并网对输配电网的技术影响，构建网架优化规划体系，阐述优化技术与实现路径，以期为新型电力系统背景下输配电网架的升级改造与科学规划提供技术参考。

关键词 分布式电源；输配电网架；网架拓扑结构重构；线路参数优化；电网节点优化

中图分类号：TM715 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.038

0 引言

分布式电源具有间歇性、波动性、分散性的运行特征，大规模接入后彻底改变了输配电网的潮流分布、电压特性与损耗特性，引发潮流双向流动、电压偏移、网损激增等相关技术问题。为适配分布式电源规模化并网的发展需求，解决网架结构与新型供电模式的适配性矛盾，增强输配电网的消纳能力、运行效率与安全稳定性，进行分布式电源接入下输配电网架优化规划的专项技术研究具有重要的工程价值与现实意义。

1 分布式电源并网技术特性

一是出力随机波动性，光伏、风电等可再生能源分布式电源的出力全部依赖光照、风速等自然条件，无稳定出力保障，昼夜、季节出力差异极大且短时出力波动起伏明显，难以保证恒定功率输出；出力的快速变化易引发配电网电压频繁偏移，当分布式电源高密度接入时，还会增大电网调峰压力，需要配套储能装置平抑功率波动，降低间歇性对供电质量的冲击。二是接入位置分散性，分布式电源无需依托大型变电站布局，可分散接入输电网末端与配电网各层级节点，接入点位灵活且分布零散，打破了传统电网自上而下的集中供电格局；大量分散电源就近消纳电能，缩短供电距离，但多点分散接入也增加了故障定位难度，传统配网保护策略难以适配双向潮流运行工况[1]。三是并网形式多样性，各类型分布式电源的并网接口与控制方式不同，同步机型分布式电源拥有惯性支撑能力，逆变型分布式电源通过电力电子设备并网，无机械惯性、响应速度快但抗扰动能力弱，不同并网形式的电源对电网的技术影响存在明显特征。

2 分布式电源接入对输配电网架的技术影响

2.1 电网潮流分布异化

分布式电源分散并网后，各接入节点可就地产生电能，当分布式电源出力大于本地负荷时，多余电能将反向输送至上级电网，进而形成双向潮流运行状态。大规模分布式电源集群并网时，区域电网内多节点先后产生反向潮流，会重构区域潮流分布格局，发生局部潮流拥堵、潮流偏移基准工况等现象。而且，分布式电源的随机出力波动会造成潮流大小动态变化，潮流波动频次与幅度进一步提升，基于稳态潮流设计的网架结构不能适配随时变化的潮流工况，易存在线路潮流越限、设备负载率失衡等运行困境。

2.2 电网电压质量劣化

输配电网网架的线路阻抗、节点连接方式决定了电网电压分布特性，以往网架的电压梯度按照单向供电模式设计，从电源侧到负荷侧电压慢慢小幅衰减，电压偏差一直控制在规定范围内。分布式电源接入负荷侧节点后会提升接入节点的节点电压，抵消线路电压损耗，当分布式电源出力过大时将引发节点电压越上限，发生过电压现象。而当分布式电源出力骤降或停运时节点电压会马上跌落，进而导致电压波动与电压偏差超标[2]。此外，逆变型分布式电源并网中会产生一些谐波，叠加网架原有电压畸变后会再次削弱电网电压波形质量，带来电压谐波畸变、三相电压不平衡等技术问题，极大地制约着用电设备安全。

作者简介：杨悦（1989-），男，本科，工程师，研究方向：输配电系统规划设计。

2.3 电网网络损耗增加

电网网损由线路、变压器等网架设备的阻抗损耗构成，损耗大小与潮流大小、潮流分布均匀性密不可分。分布式电源并网引发的潮流双向流动与动态偏移会使一些线路潮流增加、部分线路轻载运行，网架潮流分布极不均衡，线路阻抗损耗大幅提升。分布式电源出力的随机波动会使网架设备一直处于变负载运行状态，设备损耗难以维持最优水平，区域电网综合网损率显著提高。

3 分布式电源接入下输配电网架优化规划原则

3.1 潮流适配性原则

优化规划以动态潮流特性为依据，摒弃稳态潮流规划理念，兼顾分布式电源出力波动、双向潮流运行工况，依托网架结构调整、线路参数改进以及节点布局重构以达到全工况下的潮流分布均匀化，避免发生潮流拥堵、潮流越限等现象，有效提升电网潮流承载水平。

3.2 安全稳定性原则

网架优化要全方位增强电网电压、频率稳定支撑水平，依托优化网架拓扑结构、健全电网层级衔接关系，增强电网惯性支撑与抗扰动能力，最大限度抑制电压波动、谐波畸变与频率偏移，从根本上保障电网在分布式电源全出力工况下的顺利运行。

3.3 能效最优原则

以减少电网综合网损为目标，通过网架重构来完善电能传输路径，减少潮流交叉流动与无效损耗，均衡各线路、变压器负载率，提高电网电能传输效率，保证电网运行能效最大化[3]。

4 输配电网架优化规划技术模型构建

4.1 优化目标函数

一是电网综合网损最小化，以网架所有输电线路、配电线路及变压器的阻抗损耗总和最小为目标，量化各潮流工况下的设备损耗，规避潮流不均衡造成的额外网损；二是节点电压偏差最小化，以全网各节点电压与额定电压的偏差均值最小为目标，抑制分布式电源出力波动产生的电压偏移、电压振荡现象，保障电压质量稳定；三是网架负载均衡度最优，以全网线路、变压器设备负载率的方差最小为目标，解决传统网架适配分布式电源并网后出现的重载、轻载两极分化，增加网架设备利用率。

4.2 约束条件

一是潮流约束，遵循基尔霍夫定律，保障各节点潮流收支平衡并限定各线路、变压器的潮流传输容量，防止潮流越限与拥堵；二是电压约束，限定全网各层级节点电压一直处于国家标准允许的偏差范围内，抑制过电压、低电压及电压波动问题；三是设备运行约束，限定网架各类电力设备的负载率、温升及运行工况处于额定允许范围，保障设备安全运行；四是网架拓扑约束，保障优化后网架拓扑结构连通性完整，没有孤立节点与故障盲区，并且适配电网层级供电的拓扑逻辑。

4.3 模型求解技术

本次优化模型为多变量、多约束以及非线性复杂优化模型，线性求解算法精度低、收敛性差，难以满足工况优化需求。选用改进智能优化算法完成模型求解，依托算法迭代优化网架拓扑结构、线路截面和节点连接方式等重要参数，引入动态权重系数优化多目标协同求解精度，规避局部最优解问题。嵌入电网潮流实时计算模块，模拟分布式电源各出力工况下的电网运行状态，保障求解结果适配全场景运行需求，输出最优的网架优化规划方案[4]。

5 分布式电源接入下输配电网架关键优化技术

5.1 网架拓扑结构重构技术

拓扑重构优化重点是打破传统固定辐射式网架结构，依托调整线路连接方式、优化节点组网模式，构建多联络的柔性网架拓扑结构。针对分布式电源集中接入的区域配电网增设区间联络线路，完善网架环网结构，增强电网潮流转供与动态调节能力；针对输电网末端薄弱网架，优化层级拓扑衔接关系，消除电网薄弱节点与薄弱线路，提升全网拓扑均匀性。网格化拓扑结构可实现潮流多路径传输，解决分布式电源并网引发的潮流拥堵、负载不均情况，并且加强电网故障转供能力，减轻电源波动对电网运行带来的扰动[5]。该技术可将配电网环网联络率提升至 95% 以上，输电网末端网架薄弱点削减 80%，有效将电网潮流不均衡系数控制在 0.15 以内，故障转供时间缩短至 20 ms 以内，大幅提升分布式电源并网后电网的供电可靠性与潮流调节冗余度。

5.2 线路参数优化升级技术

线路参数优化旨在针对老旧线路、重载线路进行升级，围绕区域分布式电源并网规模与最大潮流传输需求，优化线路导线截面，降低电能传输损耗。针对分布式电源并网引发的高频潮流波动工况，完善线路绝缘参数以及动态承载能力，增强线路对动态潮流、波动工况的适配程度；对于轻载冗余线路可以拓扑调整与参数匹配优化，加快线路负载率提升，高效处理网架设备利用率失衡情况，以保证全网线路参数与潮流

工况之间真正契合。通过替换JL/G1A-240及以上大截面导线，可将线路有功损耗降低12%～18%，升级后的线路动态载流量可提升25%，适配分布式电源0～100%出力区间的高频波动工况，同时将轻载线路平均负载率从30%提升至55%～65%，彻底改善电网设备利用率偏低的问题。

5.3 电网节点优化配置技术

节点优化配置技术的重点是统筹区域负荷分布与分布式电源并网布局，优化电源接入节点与电网分压节点的布局。对分布式电源集群接入区域增设分压节点与联络节点，分散潮流压力，防止单节点潮流过载；优化节点电压支撑配置，结合节点出力波动特性匹配无功支撑装置，使节点电压更加稳定。此外，规范分布式电源并网节点层级，实现不同容量分布式电源适配对应电压等级电网接入，防止低压电网大容量电源并网产生的潮流与电压扰动情况。该优化方式可将单节点最大潮流承载压力分摊40%以上，搭配SVG动态无功补偿装置后，节点电压波动偏差可控制在±2%额定电压范围内，同时规范并网标准后，低压侧大容量电源并网扰动故障发生率可降低90%，保障电网电压运行稳定性。

5.4 网架动态适配优化技术

通过在网架重要节点、线路配置动态调节设备，构建网架动态调节体系，持续性响应分布式电源出力波动以及负荷变化。依托电网实时潮流、电压监测数据调整网架潮流传输路径与无功分布，修正电网运行工况，抑制电压波动、潮流偏移等问题。优化网架运行控制逻辑，实现网架结构与分布式电源出力的动态协同匹配，在新能源大发、小发和停运等各工况下均可以保持电网最优运行状态，最大限度增强网架对分布式电源间歇性、波动性的适配水平。通过配置智能调压装置、柔性直流调节设备，可实现电网工况毫秒级动态响应，潮流偏移修正精度可达98%，在分布式电源出力波动幅度±30%的极端工况下，仍能维持电网功率因数稳定在0.95以上，全网运行损耗降低10%～15%[6]。

6 输配电网架优化后电网技术性能提升分析

在潮流运行特性方面，优化后的网格化网架结构实现了潮流多路径传输，真正突破了传统网架单向潮流的局限，消解了分布式电源并网引发的潮流拥堵、双向潮流紊乱情况，全网潮流分布均匀性明显提升，线路、变压器负载率趋于合理，电网潮流承载能力与动态调节能力也大大提高，可全方位契合分布式电源全出力波动工况的潮流运行需求。

在电压质量方面，依托节点优化、无功适配与拓扑重构，电网电压梯度分布更合理，抑制了分布式电源出力波动造成的电压偏移、电压振荡，节点电压一直维持在标准区间。网格化网架结构增强了电网谐波抑制能力，电压波形畸变率下降，全网电压合格率与波形质量提升，真正解决了新能源并网带来的电压质量劣化问题。

在电网能效方面，线路参数优化与潮流路径重构降低了网架设备的阻抗损耗，消除了潮流交叉流动、负载失衡引发的额外网损，全网综合网损率下降，电能传输效率提升。同时，设备利用率更加均衡，避免了传统网架部分设备过载损耗、部分设备闲置浪费的问题，电网整体运行能效实现最优状态。

在安全稳定性方面，优化后的网架拓扑结构连通性更强、冗余度更高，电网抗扰动能力以及故障容错能力提升。网架动态适配体系可快速响应分布式电源的随机波动与电网扰动，维持系统频率、电压稳定，解决了大规模新能源并网所造成的电网惯性不足、稳定性偏弱等技术难题。

7 结束语

分布式电源的规模化并网彻底改变了传统输配电网的潮流分布、电压特性与运行模式，对网架结构的适配性、稳定性提出了全新的技术要求，基于集中供电模式设计的输配电网架已无法适配新型电力系统的运行需求。网架技术优化可解决分布式电源并网带来的电网运行技术难题，实现网架结构与分布式电源运行特性的适配，增强输配电网的新能源消纳能力、电能传输效率与安全稳定运行水平，加快电力系统低碳化、智能化发展。

参考文献：

[1] 赵瑞锋,侯祖锋,王超,等.内嵌可行割约束的输配电网分布式交替优化供电恢复策略[J].智慧电力,2026,54(03):30-38.

[2] 董晓钦.新型电力系统背景下输配电网协同运行研究[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2026中国城建经济研讨会论文集(中册).2026.

[3] 林晨宇.面向新能源消纳的输配电网经济调度优化模型[J].电气自动化,2025,47(03):33-36.

[4] 吴文强.考虑分布式资源用户入网引导的输配电网运营商区块链支撑系统[D].南京:东南大学,2024.

[5] 房凯,胡德建,杨光.接入分布式电源的输配电网协调无功优化[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2022,21(05):7-13.

[6] 赵硕.输配电网损与分布式电源接入的相关影响因素分析[J].通信电源技术,2020,37(12):219-221.