

# 基于分布式电源接入的新型电力系统电网结构优化探讨

姚凯 谢黎鹏 李钊 王稼琦 李鲁生

国网河南省电力公司焦作供电公司 河南 焦作 454000

**【摘要】**：在“双碳”目标和能源结构深度调整背景下，分布式电源在中国电力系统中的接入规模和应用场景持续扩展，传统以集中式电源为主导的电网结构逐步暴露出适应性不足的问题。新型电力系统建设要求电网在结构层面具备更强的承载弹性、调节能力与运行适配性，而分布式电源的随机性、多点性和反向潮流特征，对现有电网结构提出了新的约束条件。结合中国近年来在配电网改造、源网协同规划及局部结构重构方面的实践经验，可以看出电网结构优化已成为支撑分布式电源高比例接入的重要基础性工作。本文围绕分布式电源接入条件下的新型电力系统电网结构问题，系统梳理相关特征与内在逻辑，并提出针对性的结构优化思路与实施路径，为后续工程实践提供参考。

**【关键词】**：分布式电源；接入；新型电力系统；电网结构；优化；价值；策略

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.071

中国新型电力系统建设正处于由理念推进向工程落地转变的关键阶段，分布式电源作为新能源消纳的重要组成部分，其发展速度明显快于传统电源形式。受资源禀赋、负荷分布及用能方式变化影响，分布式光伏、分散式风电及用户侧电源大量嵌入中低压电网，使原有以单向功率传输为主的电网结构运行特征发生改变<sup>[1]</sup>。在这一背景下，仅依靠运行控制手段已难以从根本上解决局部过载、电压波动和结构冗余不足等问题。实践表明，只有从电网结构层面对分布式电源接入进行系统性优化，才能为新型电力系统的安全稳定运行奠定可靠基础。

## 1 分布式电源与新型电力系统电网结构概述

分布式电源通常指直接接入配电网或用户侧、以就地消纳为主要运行方式的发电单元，其容量规模相对集中式电源较小，但数量多、分布范围广，主要表现为分布式光伏、分散式风电及部分工业自备电源等形式。从工程角度看，分布式电源在接入位置、出力特性和运行方式上具有显著差异性，其功率输出易受自然条件和负荷变化影响，对电网结构的适应能力提出了更高要求。新型电力系统电网结构则是在高比例新能源接入背景下，对传统分层分区、单向输配电结构进行调整和重构所形成的网架形态，其核心在于增强电网对多源接入、多向潮流及动态运行条件的承载能力<sup>[2]</sup>。结合现有电网发展实际，新型电力系统电网结构不再单纯追求规模扩展，而更加注重结构合理性、层级衔接性和局部调节能力。分布式电源的发展推动电网由“源随网建”向“源网协调”转变，而电网结构的优化程度又直接影响分布式电源的可接入规模与运行效果，两者在规划和运行层面呈现出高度耦合关系。

## 2 基于分布式电源接入的新型电力系统电网结构优化必要性

随着分布式电源接入比例持续提升，传统电网结构在适应

性方面逐步显现出局限性，结构优化已成为不可避免的现实需求。从运行层面看，分布式电源集中接入区域易出现潮流反向、节点电压抬升及局部线路负载不均等问题，若电网结构仍以单径供电和放射式网架为主，将显著增加运行调整难度。从规划角度分析，现有配电网多以历史负荷增长为依据进行建设，结构冗余主要服务于负荷保障，而对电源侧变化考虑不足，难以满足分布式电源灵活接入需求。结合中国部分地区实践情况，当分布式电源装机规模超过一定阈值后，若不同步调整网架层级和供电路径，往往需要频繁采取限发措施，影响资源利用效率。此外，新型电力系统强调安全、灵活与经济并重，电网结构若缺乏合理分区和备用通道，在电源波动或局部故障情况下，系统抗扰能力明显不足。相关研究表面，单纯依赖运行手段弥补结构不足，将导致运维复杂度上升和长期成本增加。因此，从电网结构层面对分布式电源接入进行系统优化，是提升新型电力系统整体运行质量和工程可实施性的必要前提。

## 3 基于分布式电源接入的新型电力系统电网结构优化策略

### 3.1 优化配电网网架层级与供电结构

在分布式电源规模化接入背景下，配电网网架层级与供电结构优化应以现有配电网运行特性为基础，系统梳理不同电压等级在电源接入与负荷供给中的实际作用，通过结构重构实现功能清晰化配置。具体实施中，应结合分布式光伏、分散式风电及用户侧电源的空间分布特征，对10 kV及以下配电网进行层级再划分，明确主干线路以承担区域功率平衡和跨台区调剂为主要功能，支线网络侧重就地消纳和短距离输送，避免原有网架中普遍存在的多层级并行供电现象造成潮流路径混乱<sup>[3]</sup>。

第一作者简介：姚凯（1972.5），性别：男，民族：汉族，籍贯：辽宁沈阳，学历：本科，职称：高级工程师，研究方向：电网设备运行维护。

同时,在配电网结构调整过程中,应以负荷分布和电源出力特性为依据,合理配置联络线位置与容量,优先在分布式电源密集区域形成具备双向供电能力的环网或准环网结构,通过结构冗余提升局部电网对出力波动的适应能力,减少单辐射供电模式下的运行约束。在新建及改造区域规划阶段,应将电源接入方案与配电网网架布局同步论证,重点关注电源接入点至负荷中心之间的线路层级和传输半径,防止出现低压侧电源集中但中压通道受限的问题,通过优化馈线走向和分段方式拓展消纳路径。在具体实施路径上,应充分考虑既有设备条件和运行习惯,采用分区、分层逐步调整的方式推进网架优化,优先在具备条件的台区和线路开展结构完善工作,并通过运行监测不断修正调整方案,确保新旧供电结构在过渡阶段保持运行方式的连续性和稳定性。

### 3.2 强化电网分区与局部自平衡能力

在分布式电源多点接入背景下,新型电力系统电网结构优化应以电网分区清晰化和局部自平衡能力强化为核心展开系统设计。在规划阶段,应结合城乡负荷分布特征、分布式电源装机类型及容量等级,对配电网进行分区重构,依据供电半径、线路承载能力和负荷波动水平,明确各分区在电源承载和功率交换中的功能边界,避免因分区模糊导致潮流路径不稳定。分区划分过程中,应同步校核变电站出线结构与馈线长度,使分区内电源与负荷形成相对稳定的匹配关系,减少无序反送现象的发生。分区边界设计应以可控联络为原则,通过合理布置联络线路和分段点,形成层次清楚的功率交换通道,在分布式电源出力波动时实现相邻分区之间的有序调节,防止局部功率集中冲击主干网架。联络方式选择应结合现有线路走向和负荷分布,优先采用短距离、少交叉的结构形式,降低运行状态变化对整体网架的影响。在分区内部结构优化中,应根据分布式电源接入位置重新梳理线路走向和节点布置,避免长距离集中汇集,推动电源就近接入、就地消纳,通过缩短功率传输路径降低跨区依赖程度。同时,应对分区内关键节点的供电半径和负载水平进行均衡调整,防止因局部电源集中导致节点运行裕度不足。分区结构的确定还应与运行维护需求相结合,在结构层面预留清晰的运行边界和检修隔离条件,使分区内操作逻辑简明可控,为后续方式调整和设备检修提供稳定的物理基础,减少复杂切换操作带来的运行风险。

### 3.3 统筹电源接入位置与网架承载能力

在分布式电源规模持续扩大的背景下,新型电力系统电网结构优化应将电源接入位置与网架承载能力统筹考虑,形成以结构适应性为核心的规划思路。具体实践中,规划阶段应以现有配电网拓扑和运行水平为基础,对拟接入区域线路载流能力、节点短路容量及供电半径进行系统校核,重点识别末端线路、单辐射结构及长期高负载节点,防止分布式电源直接叠加于承载裕度不足的位置,从源头降低结构性风险<sup>[4]</sup>。在此基础

上,应结合城乡配电网改造同步开展局部网架补强,通过合理调整线路走向、增设联络支线或完善环网结构,提高关键节点的电力交换能力,为分布式电源接入创造稳定的物理条件。同时,在分布式电源集中开发区域,应依据电源容量等级和地理分布情况,对接入点进行分散化布置,避免多个电源汇集至同一变压器或馈线,减少单点结构受力集中带来的运行约束,并通过分区供电方式引导电源就近消纳。在具体接入方式选择上,应充分考虑不同类型分布式电源的出力特性与运行规律,对小容量、间歇性电源优先采用低压或中压末端接入,对容量较大且运行相对稳定的电源则引导接入结构条件较优的主干线路或变电站侧,确保网架调整幅度与电源特性相匹配。在实施过程中,还应将接入方案与年度网架建设计划相衔接,通过滚动评估方式动态修正接入位置选择,使电源布局调整与网架承载能力提升保持协同推进。

### 3.4 推进主配网结构协同优化

在分布式电源高比例接入的新型电力系统条件下,推进主配网结构协同优化需从规划统筹、结构匹配和运行约束协同三个层面同步展开。首先,在电网规划阶段应将分布式电源作为确定性结构要素纳入主配网联合论证,通过对接入区域负荷特性、电源出力区间及供电半径的综合分析,明确分布式电源向上级电网传递功率的主要通道,避免仅在配网侧局部加固而忽略主网受力变化,同时结合主网变电站布点和线路走廊条件,提前校核主配网衔接节点的容量裕度与结构冗余度。其次,在主配网连接关系优化方面,应依据分布式电源规模和分布密度,对主配网连接点数量和位置进行动态调整,通过合理配置主配网接口电压等级和供电路径,降低单一通道承载过重的问题,并在配网内部形成多点支撑的电源接入格局,使主网侧承担的功率波动得到有效分散。再次,在分布式电源集中发展的区域,应将主网输电能力作为配网结构调整的重要约束条件,结合主网线路潮流分布和变电站负载水平,审慎推进配网联络线和环网结构建设,防止配网结构强化后引发主网断面受限或局部过载,同时通过分区供电范围重构,实现主配网之间功率交换路径的清晰化<sup>[5]</sup>。最后,在主配网协同优化实施过程中,应以结构稳定为导向,逐步完善主配网层级关系,通过明确主网承担的输送功能和配网侧消纳功能边界,形成层次分明、接口清楚的整体网架结构,使分布式电源接入条件下的电网结构调整具备可持续的协调基础。

### 3.5 结合区域特征实施差异化结构改造

在分布式电源高比例接入的新型电力系统条件下,电网结构优化需紧密结合区域资源禀赋、负荷形态及既有网架基础实施差异化改造。在新能源资源富集地区,结构调整应围绕电源集中接入特征,优先梳理送出通道与区域内部潮流组织关系,通过优化主配网衔接层级、增强关键变电节点汇集能力以及适度提升线路通道通流裕度,降低集中出力条件下对局部网架的

挤占效应,并同步完善分区运行结构以减少跨区倒送对系统运行的干扰。在负荷密集且分布式电源点多面广的城市区域,结构优化应着重提升配电网内部的结构强度与弹性,通过合理细化供电分区、强化中低压网架环网化程度以及优化馈线间联络方式,增强局部网架对出力波动和负荷变化的适应能力,避免分布式电源接入引发电压越限或潮流重构频繁问题。在城乡结合及负荷、电源分布不均区域,结构改造应注重平衡性调整,在充分评估现有线路负载水平和供电半径的基础上,有序补强薄弱联络通道,优化电源就地消纳与跨区供电路径配置,减少单一供电方向依赖对运行安全的影响。同时,差异化改造过程中应以现有电网物理条件和建设节奏为约束,结合区域发展阶段统筹推进,避免脱离实际的统一化改造思路造成结构冗余或投资效率下降。

### 3.6 加强结构优化与建设节奏协调

在基于分布式电源接入的新型电力系统建设过程中,电网结构优化需与电源发展节奏形成稳定协同关系,避免规划与实施脱节。首先,应以区域分布式电源接入规模预测为基础,结合光伏、分散式风电及综合能源站的建设进度,对主配网结构调整实施分阶段推进,通过预留通道与渐进式扩容方式,引导网架逐步适应电源渗透水平变化,防止过度前置建设导致投资效率偏低。其次,在建设实施层面,应将结构优化项目纳入年

度与中长期建设计划,统筹变电站布点、线路改造及联络通道完善等工作,使关键结构调整节点与新增电源投产时序相匹配,确保接入条件在物理层面同步到位。再次,应建立以运行数据和接入效果为依据的滚动评估机制,定期对分布式电源出力特性、负荷变化及潮流分布进行复核,在此基础上对原有结构优化方案进行动态修正,使网架演进过程具备持续调整能力,避免规划固化带来的适应性不足。最后,在具体执行过程中,应重点关注工程实施条件和运维约束,将结构优化措施细化至可施工、可验收的工程单元,合理控制改造范围与施工强度,确保调整后的电网结构在长期运行中保持稳定、可靠与可控<sup>[6]</sup>。

## 4 结语

综上所述,分布式电源的快速发展正在深刻改变中国电力系统的运行特征,对电网结构提出了更高要求。从工程实践看,单纯依靠运行调节已难以支撑新型电力系统长期稳定运行,必须从结构层面进行系统优化。通过合理调整网架层级、优化供电结构并加强主配网协同,可以有效提升电网对分布式电源的承载能力。未来,在持续推进新型电力系统建设过程中,应坚持结构优化与电源发展同步推进,使电网结构演进始终服务于系统安全与运行稳定。

## 参考文献:

- [1] 郝文斌,孟志高,张勇,等.新型电力系统下多分布式电源接入配电网承载力评估方法研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(14):23-33.
- [2] 赵鑫.基于分布式电源接入电网的线损优化策略研究[J].消费电子,2025(2):53-55.
- [3] 廖荣忠.新型电力系统下分布式电源并网控制技术应用[J].能源新观察,2025(8):53-54.
- [4] 杨成刚,何昌俊.智能电网中分布式电源接入对系统稳定性影响分析[C]//2024 工程技术应用与施工管理交流论文集(下).2024.
- [5] 张楠,龚甜甜.基于分布式电源接入电网的线损优化策略研究[J].光源与照明,2024(10):150-152.
- [6] 孙启星,张超,张梦歌,等.适应新型电力系统的分布式电源用户备用费机制设计[J].中国电力,2025,58(6):190-197.