新型电力系统背景下区域电网无功调控策略研究

李振波　何　超
天津天大求实电力新技术股份有限公司　天津　300000

摘　要：高比例新能源并网持续重塑区域电网运行架构，源荷双向互动特性引发频繁无功波动，传统调控模式难以适配动态多变的电网工况。结合电网运行形态、无功扰动特征与设备适配短板，本文逐层梳理新能源、多元负荷、网架结构及并网设备带来的无功扰动成因，拆解多维度无功失衡作用机理。依托电网分层分区管控逻辑，搭建多主体协同、动态适配的无功调控策略体系，同步完善调控响应机制与运行优化路径。整套优化思路可有效改善区域电网无功失衡问题，提升电网无功运行的稳定性与动态适配能力。

关键词：新型电力系统；区域电网；无功功率；扰动机理；调控策略

引言：电力系统新能源渗透率持续提升，配网末端电源布局愈发分散，电网功率传输与无功分布模式发生根本性转变。源荷工况的动态波动催生大量随机性无功扰动，网架结构约束与多元设备耦合作用进一步加剧局部无功失衡问题。传统固化的无功调控方式适配场景有限，调节精度与响应速度难以匹配新型电网运行需求。优化无功调控逻辑、完善多源协同调控体系，能够化解现阶段无功管控的各类短板，维持电网电压与功率平衡，保障区域电网安全平稳运行。

1 新型电力系统下区域电网无功运行特征与调控难点

1.1 新能源接入下区域电网运行形态转变

传统区域电网主要依靠火电、水电等集中式机组供电，电能输送路径明确，功率流向稳定，网架整体呈现单向辐射的运行模式。新型电力系统不断发展，大量新能源设备陆续接入配网网架，电网整体架构与运行逻辑发生深刻变化。新能源机组大多布设在配网末端节点，彻底打破电网自上而下的传统功率传输格局。电网潮流方向不再固定，运行状态会随着新能源出力起伏持续变化[1]。网架结构的整体革新，让长期适配稳态运行的传统调控方式难以适配当下复杂的电网运行场景。

1.2 区域电网无功功率动态变化特征

传统电网用电负荷节律平稳，无功供需波动幅度小，电网能够长期维持相对均衡的无功运行状态。新能源发电受自然条件约束较大，出力存在明显随机波动特性，彻底重塑区域电网的无功供需格局。电网无功产出与消耗不再遵循固定规律，波动范围持续拓宽，系统稳态运行时段持续缩短。频繁的无功工况波动会干扰线路电压分布，破坏区域无功平衡。电网运行对无功调节的灵活度与动态适配水平提出更高标准，无形中增加了无功调控的整体难度。

1.3 分布式电源并网带来的无功扰动特征

分布式光伏、小型风电等设备接入点位较为零散，广泛覆盖城区台区、产业园区及乡村配网末端。多数分布式电源以输出有功功率为核心，无功调节储备较为有限，运行过程中容易产生无序无功分量。不同并网设备随机启停、出力无规律波动，会在配网局部区域累积形成无序无功扰动。这类扰动多发于电网末梢，可沿供电线路逐步扩散，打乱局部台区无功分布秩序，引发区域性无功失衡，对电网平稳运行形成持续性干扰。

1.4 传统无功调控模式的适配短板

传统无功调控体系依托固定补偿设备开展档位投切调节，整体设计思路适配传统电网的稳态运行场景。调节形式相对单一，档位调节跨度偏大，精细化调控能力薄弱，仅适用于负荷变化平缓的常规无功波动场景。新能源大规模并网后，电网无功波动更加频繁、变化幅度更宽，运行工况始终处于动态更迭状态。固定补偿设备的调节速度难以跟上无功动态变化节奏，无法实现精准的无功供需匹配。传统调控体系难以统筹全域分散的无功资源，对局部无功失衡问题的处置能力不足，整体适配能力逐步弱化。

2 区域电网无功功率扰动机理与影响机制

2.1 新能源出力波动引发的无功偏移机理

新能源发电出力受光照、风速等自然环境因素制约，输出功率始终处于动态浮动状态。发电单元内部的电力电子装置工作参数会随出力变化发生偏移，无功输出容量随之产生波动。新能源并网接口的功率因数无法维持恒定状态，电网既定无功平衡状态被打破。出力起伏幅度较大时，并网节点会出现无功过剩或无功缺额的现象，造成点位电压出现偏移偏差[2]。这类无功偏移具备随机性与突发性，会持续改变局部电网的无功配比状

态，形成持续性的无功扰动。

2.2 电网负荷动态变化的无功扰动机制

现代区域电网接入的用电负荷类型愈发多元，传统工业刚性负荷与民用柔性负荷交叉共存，用电特性存在明显差异。各类用电设备投切状态无序多变，负荷无功消耗体量持续浮动，直接改变电网无功消耗总量与空间分布。用电高峰期负荷无功需求大幅攀升，电网易出现无功供给不足的问题。用电低谷期无功需求显著回落，线路容性无功占比上升，引发局部无功过剩现象。负荷工况的动态更迭持续冲击电网无功平衡体系，构成常态化的无功扰动来源。

2.3 电网网架结构对无功分布的约束作用

区域电网网架的线路参数、拓扑布局，会直接限定无功功率的传输路径与扩散范围。老旧配网线路阻抗参数偏大，无功功率传输过程中会产生明显损耗，制约无功资源的全域调配。网架分支节点繁多、供电链路复杂，会造成无功功率分布不均，部分区域无功资源难以有效利用。网架布局固化的传输特性，无法适配新能源分散并网带来的动态无功分布需求，限制电网内部无功流转与动态平衡能力，加剧局部无功失衡问题。

2.4 多元并网设备的无功耦合影响规律

区域电网内部涵盖新能源发电设备、柔性负荷、补偿装置等多元并网主体，各类设备运行特性存在明显差异，无功输出与消耗特性各不相同。不同设备独立运行、自主调节，运行参数相互交织叠加，形成复杂的无功耦合关系。单一设备的无功参数波动，会沿供电链路传导至周边设备与线路，引发连锁式无功变化。多主体无功状态相互干扰、彼此制约，放大电网无功波动幅度，提升无功调控的复杂程度，增加电网无功稳定运行的管控压力。

3 适配新型电力系统的区域电网无功调控策略体系

3.1 区域电网无功分层分区调控思路

新型电力系统下无功资源分布零散、波动范围较广，全域统一调控模式难以适配局部差异化的无功运行工况。结合区域电网拓扑结构、电源分布与负荷集聚特征，可对电网层级进行合理划分，搭建分层分区的无功调控框架。依据电压等级、供电范围与网架关联程度，梳理各层级电网的无功调节权责，明确不同区域的无功平衡管控边界。重点围绕负荷密集区域、新能源集中并网区域开展针对性管控，优先消化区域内部无功盈余与缺额。减少跨区域远距离无功输送带来的功率损耗，让无功平衡调节局限在最小供电单元内部完成[3]。分层分区的调控模式可以细化无功管控精度，化解大范围电网无功统筹调节的滞后问题，适配动态多变的电网无功运行状态。

3.2 新能源设备参与无功支撑的调控方式

新能源机组搭载的电力电子装置具备灵活的功率调节能力，可脱离有功出力约束，独立参与电网无功调节工作。充分挖掘新能源设备闲置的无功容量，能够扩充电网无功调节资源储备，弥补传统补偿设备调节容量不足的短板。依据光照、风速等自然条件预判新能源出力状态，结合并网节点电压运行水平，动态分配各机组无功输出额度。调整机组运行功率因数，对电网实施感性无功与容性无功的双向支撑，抵消新能源自身出力波动引发的无功偏移。依托单台机组精细化调节与集群机组聚合调控的模式，强化配网末端无功支撑能力，有效平抑局部电网无功扰动。

3.3 传统无功补偿装置协同调控策略

传统无功补偿设备包含电容器、电抗器、静止补偿装置等多类设备，不同设备的调节特性、响应速度与调节区间存在明显区别。单一设备独立投切的调控模式容易造成调节过度、补偿不足等问题，无法适配复杂的动态无功工况。结合各类补偿设备的运行优势，搭建多设备协同调控模式，发挥不同装置的调节特长。其中静止无功补偿装置（SVG）响应速度可达20~50ms，适配短时高频无功波动场景；电容器组单组补偿容量可达5~10Mvar，可承担电网基础稳态无功补偿任务。根据电网实时无功盈亏状态，有序安排各类补偿设备的投切时序与调节幅度，优化全域无功补偿配置，规避单一设备频繁动作引发的运行不稳定问题。

3.4 动态工况下无功功率实时协调调控方法

电网源荷工况动态更迭，需针对典型运行场景匹配对应的调控方案，完成工况自适应调节。新能源午间大发场景下，区域无功过剩问题突出，午间 11:00-15:00 为新能源出力高峰，区域无功过剩现象明显，优先调动新能源机组吸收无功，协同电抗器抑制电压抬升；晚间新能源停机，叠加晚高峰用电需求，电网无功缺口凸显，18:00-22:00 晚高峰区间无功供给压力突出，投切电容器补足无功，借助柔性负荷精细调节供需关系；阴雨、多云天气下，新能源输出功率频繁起伏，功率切换节奏较快，依靠静止补偿装置开展动态微调，抑制功率剧烈波动。区分不同工况采取针对性调控手段，梳理各类可调资源调用次序，动态适配无功供需关系，维持电网运行过程中的动态平衡。

4 区域电网无功调控体系运行优化与适配升级

4.1 多源设备无功协同配合模式优化

新型电力系统接入的无功调节资源类型多样，涵盖新能源发电单元、固定式补偿装置以及具备可调潜力的柔性用电负荷。不同调节资源的响应速度、可调容量与运行约束存在明显区别，独立运行状态下很难发挥整体调节效能。结合各类设备的运行特质，重新划分电网无功调节工作的职能分工。新能源发电单元适配波动频繁的动态补偿场景，能够应对电网短时无功波动。固定补偿设备保持长期稳定的输出状态，支撑电网基础无功平衡。柔性负荷可以根据电网运行状态灵活吸纳或释放无功余量[4]。通过重构设备间的配合逻辑，打通不同调节主体的运行壁垒，形成优势互补的调控格局，有效提升电网全域无功资源的利用效率。

4.2 复杂运行工况下调控逻辑优化思路

区域电网运行状态随源荷工况持续更迭，各类极端与过渡工况对无功调控质量提出更为严苛的标准。传统调控方式依托固定逻辑开展工作，适配场景较为单一，面对电网复杂波动状态难以做出精准应对。梳理日常运行中高频出现的复杂工况，结合无功扰动产生规律调整调控思维。摒弃固化的参数设置与机械调节模式，建立可以自主适配工况变化的调控逻辑。依托电网电压状态、无功盈亏程度和网架传输能力，灵活调整调控方向与调节幅度。强化扰动发生前期的预判与干预能力，提升调控体系对复杂电网环境的适应水平。

4.3 无功调控时序与响应机制完善

电网无功扰动传播速度快，扩散范围覆盖广，调控动作的执行节奏直接决定电网稳定程度。传统调控流程环节松散，处置节奏偏缓，难以应对突发性、高频次的无功波动问题。结合无功扰动从产生、扩散到逐步平复的完整演变过程，搭建层级清晰的递进式调控时序体系。压缩数据感知、状态研判的整体耗时，优先完成局部区域的无功偏差修正，再开展大范围电网的精细化平衡调整。理顺各层级调控环节的衔接流程，明确各类调节动作的执行次序。缩短电网无功失衡的持续时间，削弱功率波动对电压质量的不良影响。

4.4 区域电网无功均衡运行长效提升路径

电网无功运行质量的提升属于长期性工程，单次、阶段性的优化调整无法彻底解决动态波动问题。结合区域电网四季运行差异与源荷变化规律，持续挖掘现有调控体系的短板问题。不断积累不同工况、不同场景的无功运行处置经验，持续更新优化调控处置方式。细化电网无功运行管控细则，搭建常态化的问题排查与整改流程。持续优化全网无功资源配置结构，改善网架无功传输条件，弱化各类扰动因素对电网运行的干扰[5]。逐步夯实区域电网无功运行基础，构建能够适配新型电力系统持续迭代升级的长效调控体系。

结束语

区域电网无功扰动由源荷波动、网架约束、设备耦合作用等多重因素共同诱发，各类传统调控短板会持续制约电网无功运行质量。分层分区管控思路、多设备协同调控模式与动态工况适配方法，能够针对性化解不同场景下的无功失衡难题。持续优化调控配合模式、完善响应机制、夯实长效运行路径，可以持续提升电网动态无功调节能力，为新型电力系统下区域电网无功稳定运行提供可靠的技术支撑。

参考文献

[1]刘磊,杨德昌.新型电力系统背景下农村配电网转型路径分析[J].农电管理,2026(1):32-36.

[2]李德彦.新型电力系统背景下基于源荷的配电网规划方法[J].电气技术与经济,2023(8):313-315.

[3]陈晓婷,何元明,王菁,等.新型电力系统背景下配电网分布式光伏可接入容量研究[J].电工技术,2023(17):44-47,55.

[4]郭相,刘龙辉,王长磊.面向新型电力系统的主动配电网规划关键技术[J].消费电子,2026(11):188-190.

[5]张裕,李庆生,罗宁.面向低碳经济目标的输配电系统协同电网扩展规划[J].高压电器,2025,61(05):247-257.