

配电网无功补偿装置配置调试与效能提升

咸瑀璇

大庆黄和光储实证研究有限公司 黑龙江 大庆 163000

【摘要】：配电网无功补偿是改善电网电能质量、减少网络损耗、提高供电运行稳定性的重要手段，科学合理地进行配电网无功补偿装置的配置、调试工作，才能保证无功补偿装置的正常运行，充分发挥其作用。为了解决配电网无功补偿实施过程中配置适配性不足、调试规范性欠缺、效能挖掘不充分等问题，本文从配电网无功补偿装置配置调试和效能提升全过程入手，展开系统的研究。梳理出目前配电网无功补偿装置应用过程中存在的主要实施难点，从配置适配和现场调试两个方面分析技术上的限制因素；确定装置配置、调试操作、效能控制的主要实施要点。

【关键词】：配电网；无功补偿；装置

DOI:10.12417/3041-0630.26.12.052

引言

在新型电力系统建设的过程中，配电网负荷结构由原来的单一走向多元化，分布式电源大量接入，非线性用电负荷不断增多，造成电网无功功率分布越来越复杂，无功失衡造成的电能质量下降、电网运行能耗增加等问题愈加严重。无功补偿装置是配电网无功调节的主要设备，其应用好坏直接影响到配电网供电可靠性和经济运行水平。在实际的电网运维工作当中，装置的盲目配置、不规范调试、粗放式运维等问题，很容易造成设备补偿功能不能得到充分发挥，甚至会出现过补偿、欠补偿等反向影响，从而阻碍配电网无功优化工作的推进。

1 配电网无功补偿装置配置调试与效能提升难点

1.1 复杂工况下装置配置适配性把控难点

配电网拓扑结构复杂、负荷动态变化幅度大、供电区域用电特性差异明显，复杂的运行工况给无功补偿装置的精确配置带来了极大的困难，也是无功补偿装置后续发挥作用的主要前置难题。不同的供电片区用电负荷时序特性、负荷类型、供电半径等存在较大差别，单靠常规配置经验来开展设备选型和点位布设，很容易造成装置容量与区域无功需求不匹配、安装点位无功调控覆盖不足等问题。分布式光伏、风电等新能源设备的大规模接入，使配电网无功潮流呈现出双向流动、随机波动的特点，传统的以稳态负荷为基础的配置方式已经不能满足动态无功工况的要求，不能准确地匹配电网实时无功补偿的需求^[1]。另外，配电网老旧线路和新建网架交叉分布，各个线路的阻抗参数、供电能力不一样，装置配置时不能兼顾局部无功优化和全网无功平衡，容易造成局部补偿冗余、片区补偿不足的失衡状态，从源头上限制了无功补偿装置的实际应用效能，也给后续调试工作带来了诸多不确定性的阻碍。

1.2 多场景设备调试标准化落地难点

无功补偿装置现场调试是连接设备安装和高效运行的重

要环节，受配电网运行场景多元化、设备类型不同、现场作业条件受限等影响，标准化调试工作很难高效落地，成为影响效能提升的主要过程难点。目前配电网投入运行的无功补偿装置种类繁多，静态补偿、动态补偿、分组补偿、集中补偿等不同类型的无功补偿装置的调试原理、参数设置标准、操作程序存在着较大的差别，现场调试人员容易出现参数校准不准、调试程序不规范、功能核验不全面等问题。不同的供电场景下电网运行约束条件不一样，城乡配电网、工业负荷片区、居民聚居片区的电网运行规则、负荷波动规律存在差异，通用化的调试方案不能满足各个场景个性化调试的需求，无法达到设备运行参数与场景工况精准匹配的目的。同时，配电网现场调试作业大多处在带电或者半带电的状态下，作业安全约束、设备运行约束较多，部分精细化调试工序受到现场条件的限制不能全部完成，造成装置调试存在盲区，设备潜在的补偿性能不能被充分释放出来，调试质量不达标直接导致装置运行效能大打折扣，不能达到预期的无功优化效果。

2 配电网无功补偿装置配置调试与效能提升要点

2.1 精细化装置配置核心要点

精细化配置是保证无功补偿装置充分发挥作用的前提，核心就是打破传统的粗放式配置方式，以配电网全域无功工况为依据，实现设备选型、容量配比、点位布置的全方位精准匹配。在配置工作进行时，要抛弃经验化的配置思想，以配电网的整体拓扑结构、负荷分布情况、无功潮流运行规律为基础来展开统筹规划，根据片区用电负荷的峰谷特性、季节性波动特点来确定装置的最佳配置容量，避免出现容量过剩造成资源浪费、容量不足引发补偿失效的情况^[2]。设备选型要与供电场景需求相匹配，对于负荷波动比较平稳的常规居民区，选择稳定性好、维护方便的静态补偿装置；对于新能源集中并网、负荷变化剧烈的工业区，选用响应快、调节准确的动态补偿设备，保证无功调节的及时性和准确性。点位布设要遵循“局部优化、全域

平衡”的基本原则，重点放在无功损耗集中、电压波动频繁的节点上布设设备，兼顾单点补偿效果和全网无功均衡，通过科学的空间布置避免补偿盲区和补偿重叠，为后面调试工作的开展以及效能的提高打下基础。

2.2 规范化现场调试核心要点

规范化调试是激活无功补偿设备性能、消除配置偏差、保证运行稳定的必要工序，必须依靠标准化的作业程序来完成设备参数校准、功能调试、联动核验等各个环节的工作。调试工作要严格按照设备的技术规范和配电网运行标准来执行，对不同类型的补偿设备分别制定出不同的调试方案，重点做好投切阈值、响应时间、补偿精度、保护参数等主要参数的精细调整，保证设备可以按照电网无功的变化自动完成准确的投切，防止出现过补偿、欠补偿以及频繁投切等异常运行情况。单机设备调试完毕后需要进行设备和配电网系统联动调试，核验装置和电网保护设备、测控设备的协同运行性能，保证无功补偿动作和电网运行调控逻辑高度一致，防止设备独立运行和全网调控脱节。同时现场调试要实行全流程核验，对空载、轻载、满载等各种工况下设备的运行进行测试，对设备补偿性能、稳定性和适配性能进行全方位的检验，及时发现并排除调试中的隐患，保证设备调试完毕之后可以完全适应电网复杂的运行工况，充分发挥出设备的补偿能力^[3]。

2.3 常态化效能管控核心要点

常态化的效能管控是保证无功补偿装置长久高效运转，持续改进效能的有力支撑，关键之处在于创建起全过程，动态化的管控体系，冲破“重配置，轻运维，弱管控”的传统作业模式。装置投入运行之后，要创建起常态化的运行监测体系，集中关注设备运行状况，无功补偿成效，电网电压品质，网络损耗变动等主要方面展开动态掌控，迅速察觉设备运行出现的异常情况，补偿效能下滑等状况，从而给优化调整赋予精确的参照。还要建立周期性的复核优化机制，根据配电网负荷结构的迭代、新能源并网规模的变化、电网拓扑升级等情况的变化来定期对装置配置的适配性、运行参数的合理性进行复核，有针对性地完成参数微调、容量优化、点位整改等工作，保证设备的运行状态一直适应电网最新的情况。另外还要加强作业人员专业能力控制，规范配置、调试、运维全流程作业标准，杜绝人为操作不规范、管控不到位造成的效能损耗，依靠常态化的、精细化的管控手段，保证无功补偿装置长期稳定发挥出最好的效果。

3 配电网无功补偿装置配置调试与效能提升

3.1 优化装置配置方案，夯实效能基础

为了从根本上提高无功补偿装置的运行效率，需要根据配电网动态运行的特点，不断优化无功补偿装置的整体配置方

案，使无功补偿装置的配置工作更加精准、科学、系统。首先要建立全域工况分析体系，对配电网各个片区的负荷特性、无功潮流分布规律、电压波动情况等进行全面梳理，准确找到无功损耗高发区和电压薄弱点，然后根据这些情况来制定差异化的、有针对性的配置方案，从根本上解决传统配置模式适应性问题^[4]。其次实行分区分级配置模式，按照配电网供电层级、负荷等级、用电特性，把电网分成不同的补偿区域，分别对应集中补偿、分组补偿、就地补偿相融合的复合型配置模式，主干电网侧重大容量集中补偿，分支线路和终端负荷重点开展精准就地补偿，从而达成全域无功精准覆盖。同时根据新能源并网和负荷动态变化的趋势留出装置配置扩容的空间，提高装置配置方案的灵活性和适应性，从前期规划配置角度规避效能损耗的问题，为装置高效运行打下基础。

3.2 推行精细化调试模式，激活设备潜能

依靠标准化、精细化、流程化的专业调试作业模式，可以全面发掘并激活无功补偿设备内部蕴含的核心技术性能，准确填补以往常规调试作业中普遍存在的流程粗放、标准模糊、适配性差等不足和缺陷，从根本上提高设备投入实际运行后动态补偿效能和稳定性。首先要针对不同的分类调试标准建立一个科学完备的标准体系。这就意味着要考虑到各种不同的技术原理（静止无功发生器 SVG、电容器组自动投切等），选择合适的型号规格，应用于不同的电压等级和供电场景（工业密集区、商业中心、居民小区）的无功补偿设备，为其制定出专门的调试规程和作业指导书。该规程要确定各类设备在调试期间所必需的校准主要参数（目标功率因数设定值、响应时间阈值、谐波抑制参数等），规定出标准化的调试工序步骤，调试完成后要达到的关键性能核验指标和合格标准。通过创建差异化的、精细化的调试标准，彻底消除以往采用“一刀切”的通用化调试方法造成的参数设定不准、功能验证不全等精度不足的问题，保证每一个调试作业都有据可依、有标可循，实现调试过程的规范化和结果的可预期性。其次要彻底改变观念，树立起动态调试、实时适配的先进思想。必须坚决摒弃单一工况下静态调试的方式，主动模拟并加入到电网真实运行的环境中^[5]。就具体的负荷变化规律、区域无功潮流的变化情况、新能源出力的间歇性波动等进行多工况、连续性的联动调试测试。

3.3 构建长效运维体系，实现效能持续提升

配电网运行工况的动态变化特性，决定了无功补偿装置的效能提高工作不是一次性的静态工作，而是一套长效化、智能化、精细化的运维管控体系，依靠不断的监测、评价和改善来保证设备效能的长久稳定输出以及循环改善。首先要建立一个可以对数据进行采集、智能分析和决策支持的智能化监测运维平台。该平台要充分依靠先进的电网测控技术和高精度传感监测装置，对无功补偿装置的投切状态、补偿容量、功率因数等

关键运行指标、补偿参数、电网侧无功潮流、电压波动等工况信息进行全天候的实时在线监测和采集。内置的智能诊断算法可以自动发现装置效能下降、响应迟缓、元器件异常等潜在问题,从根本上克服了传统依靠人工定期巡检方式所具有的滞后性以及主观判断的局限性,给后面开展精准化、前瞻性运维优化策略打下了扎实的数据基础和决策支撑。其次要创建起一套科学的、动态的周期性改进更新机制。这就意味着运维工作不能固守初始配置,而应该主动适应外部环境的变化。需要根据每年的检修或者电网规划周期,对配电网网架结构的改造、区域内负荷性质和分布结构发生重大变化、分布式光伏等新能源大规模接入带来的新问题和新增需求进行评价。根据以上更新后的工况信息,对在运无功补偿装置的布点配置方案、整定运行参数、更复杂的协同投切控制逻辑进行系统的复核和迭代优

化,从而不断改善设备性能与实时电网运行工况的匹配程度,保证补偿效果可以跟上电网发展的步伐而逐步提高,防止出现“配置即落后”的情况。

4 结语

配电网无功补偿装置的配置调试质量以及运维管控水平,直接关系到电网无功优化效果的好坏,也是提高配电网电能质量、降低运行损耗、保证电网安全经济运行的重要因素。明确精细化配置、规范化调试、常态化效能管控三大作业要点,从配置方案优化、精细化调试落实、长效运维体系创建三个方面搭建起全方位、全流程的效能提升实施途径。研究认为配电网无功补偿工作不能用粗放式作业方式开展,应该从精准配置入手、规范调试为主导、长效运维作为保障,使设备性能同电网工况达成深度契合。

参考文献:

- [1] 冀玉松.配电网无功补偿装置容量配置优化方法研究[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.2025:730-732.
- [2] 刘杨华,杨悦荣,林舜江.含光伏配电网中储能和无功补偿装置协调的多目标凸优化配置方法[J].电力科学与技术学报,2023,38(5):22-33.
- [3] 郭挺,陈中豪,徐良德,等.基于功率损失指数的配电网无功补偿装置两阶段多目标优化配置方法研究[J].电气工程学报,2023,18(4):239-250.
- [4] 袁文忠.基于 SVG 补偿装置的低压配电网无功谐波综合治理研究[J].光源与照明,2024,(8):186-188.
- [5] 王斌斌,郭亚男,武伟伟.无功混合补偿装置在配电网中的应用[J].机电信息,2023,(20):20-23.