

配电网系统无功补偿装置的配置与运行优化

殷建安 焦海燕

泰州三新供电服务有限公司泰兴分公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19259

[摘要] 电力系统无功补偿装置对于提升电网运行效率与稳定性至关重要,本文介绍了电力系统无功补偿装置的类型,包括并联电容器、SVC和STATCOM等,阐述了配置原则与方法,包括分层分区平衡、就地补偿等原则,按电压等级、负荷特性配置,以及配置方案评估与选择。还探讨了运行优化策略,包括基于智能算法的运行优化控制、与AGC和VQC的协调优化,以及运行优化效果评估。通过合理配置和优化运行,可提升配电网系统运行效率,实现节能降耗与经济效益双赢。

[关键词] 电力系统; 无功补偿装置; 配置; 运行; 优化

中图分类号: TM714 文献标识码: A

Configuration and Operation Optimization of Reactive Power Compensation Devices in Distribution Network Systems

Jian'an Yin Haiyan Jiao

Taixing Branch of Taizhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd.

[Abstract] Reactive power compensation devices in power systems are crucial for improving the operation efficiency and stability of power grids. This paper introduces the types of reactive power compensation devices in power systems, including shunt capacitors, SVC, STATCOM, etc., and expounds the configuration principles and methods, including principles such as hierarchical and zonal balance and local compensation, configuration according to voltage level and load characteristics, as well as evaluation and selection of configuration schemes. It also discusses operation optimization strategies, including operation optimization control based on intelligent algorithms, coordinated optimization with AGC and VQC, and evaluation of operation optimization effects. Through reasonable configuration and optimized operation, the operation efficiency of distribution network systems can be improved, achieving a win-win situation of energy saving, consumption reduction, and economic benefits.

[Key words] power system; reactive power compensation device; configuration; operation; optimization

引言

在电力系统中,无功补偿装置对于维持电压稳定、提升功率因数、降低网损起着关键作用。随着电力需求的增长与电网结构的复杂化,合理配置无功补偿装置并优化其运行策略愈发重要。本文将详细介绍常见无功补偿装置类型,阐述电力系统无功补偿装置的配置原则与方法,包括按电压等级、负荷特性配置及方案评估选择,同时探讨基于智能算法、与AGC和VQC协调优化的运行策略及效果评估,助力电力系统高效稳定运行。

1 常见无功补偿装置类型

(1) 并联电容器是配电网系统中应用最为广泛的无功补偿装置。其工作原理是借助并联电容器组向配电网输送容性无功功率。配电网中分布着众多感性负荷,这些负荷在运行时需要消耗无功功率,从而导致功率因数降低。并联电容器所提供的容性

无功功率可对感性负荷消耗的无功功率予以补偿,进而提升功率因数。该装置具有成本低、安装便捷、运行维护简单等优势,在配电网的各类场景中均得到普遍应用。通过使用并联电容器,能够显著提高配电网系统的运行效率,降低线路损耗,提升电力设备的利用效率。(2) 静止无功补偿器(SVC)是一种具备快速调节无功功率能力的装置。其核心组件包括晶闸管控制电抗器(TCR)和晶闸管投切电容器(TSC)。SVC能够依据配电网系统的实时无功需求,迅速且连续地调整无功输出量。在配电网系统运行过程中,电压波动和闪变是较为常见的问题,这些问题会干扰电力设备的正常运行,降低供电质量。SVC可有效抑制电压波动和闪变,确保电压稳定。鉴于SVC具备快速调节无功功率的特性,能够及时响应配电网系统负荷的变化,因此特别适用于对电压质量要求较高且负荷变化频繁的场景,如大型工业企业的配电

网供电系统、电气化铁路的配电网等。(3) 静止同步补偿器 (STATCOM) 是基于电压源型换流器研发的无功补偿装置。它具有响应速度快、调节范围广、输出谐波少等突出优势。与并联电容器和 SVC 有所不同, STATCOM 不仅能够独立控制有功功率和无功功率的输出, 在改善电压质量方面效果更为显著^[1]。它可以根据配电网系统的实际需求, 精准地调节输出的有功和无功功率, 实现对电压的精确控制。此外, 当配电网系统出现故障或受到干扰时, STATCOM 能够提供一定的有功支撑, 增强系统抵御干扰的能力。

2 电力系统无功补偿装置的配置原则与方法

2.1 配置原则

分层分区平衡原则要求依据配电网系统的电压层级与地理分布划分层次与区域, 达成无功功率的分层分区平衡。在各电压等级的变电站以及用户端合理布置无功补偿装置, 避免无功功率进行长距离输送, 进而降低网损。就地补偿原则主要针对大型感应电动机等感性负载, 在其附近安装无功补偿装置, 直接对负载消耗的无功功率进行补偿, 提升负载端的功率因数。集中补偿与分散补偿相结合原则中, 集中补偿用于补偿变电站母线的无功功率, 提高变电站的电压质量; 分散补偿在配电路和用户端开展, 改善局部的电压水平。二者结合能够充分发挥无功补偿装置的作用, 提升整个配电网系统的无功补偿效果。经济性原则强调在配置无功补偿装置时, 要综合考量设备投资成本、运行维护成本以及节能效益等因素。需选择性价比高的无功补偿装置与配置方案, 通过合理规划装置的容量、类型以及安装位置, 在满足配电网系统无功需求和电压质量要求的前提下, 使无功补偿的经济效益达到最大化, 实现配电网系统安全、稳定、经济运行。

2.2 按电压等级配置

高压配电网系统主要采用并联电抗器和静止无功补偿器进行无功补偿。并联电抗器能够吸收线路的充电功率, 避免线路末端电压升高, 保障系统电压稳定。静止无功补偿器 (SVC) 可依据系统无功需求, 快速调节无功输出, 增强配电网输电系统的稳定性, 提升输电能力, 确保电能高效传输。中压配电网系统常用并联电容器作为无功补偿装置。依据配电路的负荷分布与无功需求, 在变电站及配电路合适位置安装并联电容器组, 可有效提高配电网系统的功率因数, 改善电压质量, 提升供电可靠性^[2]。低压用户端采用分散式小容量并联电容器进行就地补偿。根据用户用电设备与负荷特性, 合理确定补偿容量, 能够直接补偿用户设备消耗的无功功率, 提高用户端的功率因数, 这不仅可减少线路电能损耗, 还能降低用户电费支出, 实现经济效益与环境效益的双赢。

2.3 按负荷特性配置

工业负荷包含大量感应电动机等感性设备, 无功需求大且波动频繁。对此, 应采用自动投切的并联电容器组或静止无功补偿器进行补偿。通过实时监测负荷变化, 自动调整无功补偿装置的投入容量, 使功率因数维持在较高水平, 提高供电效率, 保障工业生产稳定运行。商业负荷以照明、空调等设备为主, 无功需

求相对稳定。可采用固定安装的并联电容器进行补偿, 同时搭配少量自动投切电容器, 以应对负荷少量波动。这样既能满足商业场所基本无功需求, 又能在负荷变化时灵活调整, 提升商业运营的用电质量。居民负荷具有分散性、随机性, 无功需求较小。可在配电变压器低压侧安装集中补偿装置, 对整个居民区域负荷进行无功补偿。此方式能改善居民用电的电压质量, 减少电压波动对家电设备的影响, 延长设备使用寿命, 同时降低电网损耗, 为居民提供更优质、稳定的电力供应。

2.4 配置方案评估与选择

评估工作要依据一系列关键指标进行, 功率因数提高程度是重要指标之一, 它能直观反映无功补偿装置对配电网系统功率因数的改善效果, 功率因数提升可降低线路损耗, 提高供电能力。电压质量改善情况也至关重要, 良好的电压质量能保障用电设备稳定运行, 减少设备故障率, 评估需考量电压偏差、波动等参数的变化。网损降低率直接体现无功补偿装置在节能方面的效益, 网损降低可减少能源浪费。投资回收期则从经济角度衡量方案的可行性, 它反映了投入资金通过节能效益回收所需的时间。为准确评估不同方案, 要建立数学模型, 运用仿真计算对各方案进行分析比较^[3]。通过全面考量技术可行性与经济合理性, 从多个方案中筛选出最优配置方案, 确保无功补偿装置能充分发挥作用, 提升配电网系统运行效率。

3 电力系统无功补偿装置的运行优化策略

3.1 基于智能算法的运行优化控制

遗传算法作为一种模拟生物进化历程的优化算法, 在配电网系统无功补偿装置运行优化方面有着独特应用。它通过对染色体执行选择、交叉与变异操作, 在广阔的解空间中探寻最优无功补偿方案。该算法具备强大的全局搜索能力, 对于配电网系统中复杂且非线性的问题尤为适用, 能够有效提升无功补偿装置的运行效率, 助力装置在多样化的工况下精准定位较优的运行模式, 减少无功功率在配电网中的不合理流动。粒子群优化算法模拟鸟群觅食的行为模式, 依靠个体间的信息共享与协同合作来探寻最优解。此算法收敛速度较快, 参数设置相对简便, 在配电网无功补偿装置运行优化过程中, 能够迅速确定最优的补偿容量以及投切策略, 及时响应配电网系统无功需求的变化, 提升系统电压质量, 降低网损, 增强运行的经济性。模糊控制算法基于模糊逻辑理论, 擅长处理不确定性与模糊性问题。在配电网无功补偿装置运行期间, 系统负荷和无功需求往往存在不确定性, 该算法能够依据系统实时运行状态, 模糊地调整无功补偿装置的输出, 达成智能控制的目标。它能够适应配电网系统的动态变化, 增强系统的稳定性, 确保无功补偿装置在不同运行条件下都能有效发挥作用。

3.2 与自动发电控制 (AGC) 的协调优化

自动发电控制 (AGC) 的核心功能在于调节发电机的有功出力, 以此维持配电网系统频率的稳定, 保障电能供应的频率质量。而无功补偿装置主要聚焦于调节配电网系统的无功功率。将无功补偿装置与 AGC 进行协调优化, 能够实现有功与无功的联合

控制,显著提升配电网系统的整体运行效率。在配电网系统实际运行中,频率波动是较为常见的现象^[4]。当系统频率出现变化时,AGC会迅速做出响应,精准调整发电机的有功出力,促使系统频率尽快恢复到额定值。与此同时,无功补偿装置并非孤立运行,它会实时监测配电网系统的无功需求以及电压变化情况。依据这些实时数据,无功补偿装置自动且精准地调整无功输出,确保系统电压稳定在合理范围之内。通过这种有功与无功的协同调节,配电网系统能够在频率和电压这两个关键指标上维持稳定状态,有效提高供电可靠性,降低系统运行风险,实现电力资源的高效利用与优化配置。

3.3与电压无功控制(VQC)的协调优化

电压无功控制(VQC)是变电站内调节电压与无功的核心手段,对于保障配电网系统的稳定运行起着至关重要的作用。它能够实时测量变电站母线电压和无功功率数值,并依据既定的控制策略,自动对变压器分接头进行调节,同时精准投切并联电容器组,从而将变电站的电压和无功维持在合理范围之内。在配电网系统实际运行过程中,系统状况复杂多变,无功补偿装置能够实时感知系统运行情况。当系统无功需求发生变化或者电压出现波动时,无功补偿装置不会独立开展调节工作,而是与VQC紧密配合。VQC从宏观层面出发,依据测量所得的数据按照既定策略调整变压器分接头和电容器组的投切;无功补偿装置则从微观层面着手,根据实时运行细节灵活调整自身的无功输出。二者相互协作、优势互补,共同应对系统变化。这种协调优化方式不仅可以提高变电站的电压质量,有效减少电压偏差和波动,还能增强无功补偿效果,降低网损,提升配电网系统整体运行的经济性和可靠性。

3.4运行优化效果评估

为检验配电网系统无功补偿装置运行优化策略是否有效,构建科学的评估指标体系十分必要。电压合格率是重要指标之一,它反映了配电网系统电压在规定范围内的占比情况,能够直观体现电压质量水平,电压合格率越高,说明电压越稳定,对用电设备的损害越小。功率因数也是关键指标,其数值大小反映了

配电网系统中无功功率的利用效率,功率因数提高意味着无功功率损耗降低,供电能力增强。网损降低率直接关联着配电网系统的经济性,网损降低可使能源得到更有效利用,减少供电成本。设备动作次数则体现了无功补偿装置及相关设备的运行频繁程度,动作次数过多可能增加设备磨损,影响设备寿命。在评估过程中,需详细记录运行优化前后的各项指标数据,并进行对比分析^[5]。通过对比电压合格率,能看出优化策略对电压稳定性的提升效果;对比功率因数,可了解无功功率利用效率的改善情况;对比网损降低率,能明确优化策略在节能降耗方面的成效;对比设备动作次数,可评估优化策略对设备运行状况的影响。依据这些对比分析结果,能为进一步优化配电网系统无功补偿装置的运行策略提供有力依据。

4 结语

综上所述,电力系统无功补偿装置在提升电网运行质量上作用关键,从常见装置类型的合理选用,到遵循配置原则与方法按电压等级、负荷特性精准布局,再到采用智能算法及与AGC、VQC协调优化运行,形成了一套完整体系。而科学的运行优化效果评估,能精准衡量策略成效,为后续优化提供依据。未来,随着技术不断进步,需持续探索创新,进一步优化无功补偿装置的配置与运行,提高电力系统稳定性、经济性与可靠性,为电力行业的可持续发展提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]张礼斌.新能源电力系统无功补偿优化配置方法[J].电气技术与经济,2025(8):178-180.
- [2]黄梓毅.无功补偿装置调试方法及其运行稳定性优化策略研究[J].消费电子,2025(19):32-34.
- [3]钟力,钟成坤.基于动态负荷特性的无功补偿装置容量优化配置策略[J].电力设备管理,2025(11):190-192.
- [4]王敬坤.电气工程自动化中的无功补偿技术应用研究[J].新潮电子,2025(22):121-123.
- [5]姜晓.配电网无功补偿装置优化配置对电压稳定性的影响研究[J].工程技术研究,2025,7(14):63-65.