

农村电网无功补偿配置与电压质量提升技术

俞思源 蒋宇翔

苏州三新供电服务有限公司张家港分公司 江苏张家港 215600

摘要：作为电力系统里具有关键意义的一部分，农村电网肩负着保障农村地区生产与生活用电需求、推动乡村达成振兴目标的关键使命。本文以农村电网的结构特征和运行的当下状况为基础，剖析无功功率失去平衡给电压质量造成的影响，整理目前无功补偿配置方面存在的各类问题，探寻具备科学性的无功补偿配置办法以及能提升电压质量的技术，依照相关的技术参数设计规范的表格。为农村电网开展无功补偿改造工作、优化电压质量提供具有实践价值的参考内容以及技术引导，推动农村电网实现高质量的发展。

关键词：农村电网；无功补偿；配置方法；电压质量

一、农村电网无功功率失衡与电压质量现状

（一）农村电网无功功率失衡成因

农村电网无功功率出现失衡，主要是由电网结构、负荷特性以及运行管理三个方面的因素引发的，因素相互叠加，使无功功率的损耗进一步加剧。电网结构层面，农村电网的线路在铺设时距离较长，使用的导线截面相对偏小，同时配电变压器的布局不够合理，部分线路存在分支过多的问题，导致了无功功率在传输过程中的损耗不断增大，最终出现区域性的无功功率短缺或者过剩的现象。负荷特性，农村的用电负荷主要以感性负荷为主，像电动机、水泵、变压器等设备在运行时，会消耗数量可观的无功功率，而且负荷的分布呈现出分散的状态，季节性的波动明显，在农业生产的旺季以及居民用电的高峰时期，负荷会急剧增加，无功功率的需求也会大幅上升。在低谷期，负荷则显得不足，使无功功率失衡更加严重。在运行管理的领域中，一些农村地区的电网缺少健全的无功功率监测以及调控的机制，无功补偿设备的投入不足，或者其运行维护做得不够到位，无法依据负荷的变化对无功补偿容量进行实时的调整，使无功功率失衡的范围得到进一步的扩大^[1]。

（二）无功功率失衡对电压质量的影响

农村电网电压质量降低的关键致因是无功功率失衡，其不良影响主要体现于三个方面，分别是电压波动与闪变、电压偏差以及线路损耗加大。电压偏差层面，当电网中无功功率的供给量不足时，线路的电压降会显著增大，会使处于电网末端的用户承受的电压低于规定的额定数值，引发欠压。当无功功率出现过量的状况，会促

使电网电压上升，引发过压现象，无论是欠压还是过压，都会对用电设备的正常运转造成影响。在电压波动以及闪变领域，农村地区的感性负荷启动与停止的频率高，会使电网中的无功功率在瞬间出现突然的变化，引发电压的波动和闪变现象。特别是在农业生产过程里，像大型水泵、风机（如图1风机参考图）类设备启动或者停止时，产生的影响会更加显著。在情况严重时，会造成精密的用电设备没办法正常工作。在线路损耗层面，无功功率的传输会让线路电阻的损耗有所增加，无功功率的失衡越是严峻，线路的损耗就越大，不但会造成电力资源的浪费，而且还会因为损耗产生的热量对线路的安全运行造成影响，让电压的质量进一步降低^[2]。



图1 风机参考图

（三）农村电网电压质量现状概述

当下，我国农村电网历经数轮的改造与升级后，电压的质量有了一定程度的改善，但从整体层面出发，依旧存在许多问题，使之难以契合持续增长的用电需求。

依据运行数据得知,大部分农村电网末端的用户,其电压偏差的超标比率相对较高,特别是在那些较为偏远的区域,电压低于额定数值时常出现。一些地区由于负荷的波动幅度较大电压的波动范围超出了规范规定的要求,闪变现象显著。区域间的差异层面,山区的农村电网因为输电线路的长度更长、电力负荷的分布更为分散,电压质量问题表现得更为显著。平原地区的农村电网尽管电力负荷相对集中一些,但在季节性的用电高峰期,电压质量依然会出现较为明显的降低。

二、农村电网无功补偿配置核心技术与存在问题

(一) 常用无功补偿技术类型及特点

在农村电网中,经常会用到的无功补偿技术,大体上可分成静态无功补偿以及动态无功补偿两类,不同类型的无功补偿技术工作原理、适用的场景、各自的特点,都有较为显著的差别,需要依据农村电网的负荷特性进行合理的选择。静态无功补偿技术主要涵盖并联电容器补偿以及串联电容器补偿两种形式,技术具备结构不复杂、成本比较低、维护起来比较便捷等特性,比较适合应用在负荷相对稳定、无功功率变化较为平缓的区域,如农村居民较为集中居住的区域、规模较小的加工厂等地方。静态无功补偿技术能切实有效地对固定无功功率进行补偿,改善功率因数。动态无功补偿技术涵盖的内容主要有晶闸管控制电抗器、静止无功发生器等,具备响应速率快、补偿精准度高、能实时追踪负荷变动等特性,适用于无功功率频繁改变、负荷波动较大的区域。

(二) 农村电网无功补偿配置存在的核心问题

联系当下农村电网改造的实际,无功补偿配置主要暴露出三个比较突出的问题,对电压质量提升的成效产生限制作用。其一,配置布局不够合理,一些区域无功补偿设备被集中设置在变电站出口处,没有依据负荷分布的具体特征开展分散配置工作,使末端线路的无功功率供应出现短缺问题,电压偏差依旧显著。一部分分支线路没有配置无功补偿设备,造成区域性的无功功率失衡现象。其二,补偿容量的适配状况欠佳,存在补偿容量偏大或者偏小的问题,当补偿容量超出合理范围过多时,容易造成无功功率处于过剩状态,使电压出现升高现象。当补偿容量小于合理范围时,不能达成无功补偿的要求,很难切实地让电压质量得到提升,也难以有效降低线路产生的损耗。其三,控制手段较为落后,大部分农村电网所配备的无功补偿设备运用的是手动操控或者固定的控制模式,没办法依据负荷的变动及时对补偿

容量做出调整,适应能力相对较弱^[3]。

三、农村电网无功补偿合理配置方法与电压质量提升技术

(一) 无功补偿配置的核心原则

农村电网进行无功补偿配置时,需要遵循多个关键原则。其一为分散补偿和集中补偿相融合的原则,集中补偿通常安装于变电站的出口位置,其作用是平衡区域的整体无功功率。分散补偿则安装在负荷的末端以及分支线路处,用于补偿局部的无功功率。两种补偿方式相互配合,达成全电网无功功率的平衡。其二是容量适配原则,要结合农村电网的负荷特点以及线路参数,经过精确计算,确定适宜的补偿容量,保证补偿容量与无功功率的需求相互适配,防止出现容量过大或者过小的问题。其三为经济性准则,于达成电压质量要求以及无功补偿需求的基础上,挑选成本不高、维护便捷、运行稳定的补偿设备和配置策略,削减改造和运行的费用。

(二) 无功补偿容量计算与配置方法

精准算出无功补偿容量是合理进行配置的必要前提,要把农村电网负荷功率因数、线路损耗、电压偏差等参数结合起来,运用科学的计算办法确定补偿容量。常被使用的计算方法是功率因数补偿法,该方法先算出当前电网实际功率因数和目标功率因数之间的差值,再结合电网有功功率,确定需要的无功补偿容量。在配置布局中采用“集中补偿与分散补偿相结合”的混合配置模式,在变电站出口处配置集中补偿设备,主要作用是对主网无功功率损耗进行补偿。在配电线路分支节点、负荷集中的区域配置分散补偿设备,着重对末端负荷无功功率需求予以补偿^[4]。

(三) 农村电网常用电压质量提升技术

把农村电网无功补偿配置加以结合,配套运用多种能提升电压质量的技术,达成无功补偿和电压优化的协同推进。其一为配电变压器调压技术,该技术借助对配电变压器分接头位置进行调整,使变压器变比发生改变,对线路压降予以补偿,让末端电压质量得到改善,适用于电压偏差比较大的偏远地带。其二是线路优化改造技术,此技术会更换截面相对较小的导线,缩短线路的长度,减少线路电阻带来的损耗降低线路的压降。其三是动态的无功补偿控制技术,运用智能化的控制装置,对电网的负荷变动、无功功率以及电压参数展开实时的监测,自动对无功补偿的容量予以调整,达成无功功率的实时均衡,对电压的波动以及闪变现象进行抑制。其四

表1 电压提升技术参数和无功补偿设备的对比

技术类型	核心设备	适用场景	功率因数提升范围	电压改善效果
静态无功补偿	并联电容器	负荷稳定区域、居民集中区	0.85-0.95	降低电压偏差，效果稳定
动态无功补偿	静止无功发生器	负荷波动大区域、加工厂	0.90-0.98	抑制电压波动，响应快速
配电变压器调压	调压变压器	偏远区域、电压偏差大线路	无直接提升作用	补偿线路压降，提升末端电压
线路优化改造	大截面导线	长距离线路、损耗大区域	间接提升0.05-0.10	降低线路损耗，稳定电压

是谐波治理的技术，配备谐波滤波器，抑制电网存在的谐波污染问题，改善电压波形出现的畸变，防止谐波对电压的质量以及用电设备产生影响。

(四) 无功补偿设备与电压提升技术参数对比

各类无功补偿设备以及电压提升技术于适用情形、技术指标、运行成效存在差别，联系农村电网的实际，梳理常见设备和技术参数的对比表格，具体见表1，为配置的抉择给予参照。

四、无功补偿配置优化实践与效果分析

(一) 优化配置实践方案

根据农村电网的实际，拟定无功补偿配置的优化实践规划，采用“集中补偿+分散补偿”混合配置方式，搭配运用动态控制以及线路优化的技术手段，于变电站的出口处，设置集中并联电容器组，依照区域无功功率的需求明确补偿容量，达成主网无功功率的均衡。在配电线路的分支节点、负荷较为密集的村落设置分散补偿电容器，像大型农产品加工厂、灌溉泵站这类负荷集中的区域，设置静止无功发生器，达成就地的动态补偿^[5]。

(二) 优化实践效果分析

经由施行上述的优化配置举措，农村电网所存在的无功功率不均衡问题得以切实解决，电压的品质以及电网运行的效能实现明显提升。完成优化后，电网的功率因数自原本的0.75 ~ 0.85升高至0.90以上，达成了规定的标准，线路上无功功率传输产生的损耗削减了30%以上，电力资源的利用程度得到了大幅度的增强。电压质量层面，末端用户的电压偏差被控制在额定数值的正负7%范围内，电压的波动幅度被控制在2.5%以内，闪烁

现象基本被消除，切实保障了居民家中电器以及农业生产设备能正常运转。在优化方案得以实施后，无功补偿设备的运行稳定性得到了提升，故障的发生概率出现了大幅度的降低，运行和维护的成本有所减少。

结论

作为应对农村电网无功功率失衡、提升电压品质的关键举措，无功补偿配置起核心作用。未来，有必要紧密结合农村电网升级改造的实际需求，进一步对无功补偿配置的方案加以优化，积极推广具备智能化与高效化特点的补偿技术，并且强化运行维护管理工作，持续不断地提高农村电网的电压质量以及运行效率。

参考文献

[1]原帅.考虑光伏逆变器无功补偿能力的地区电网电压越上限问题分析[J].内蒙古电力技术,2021,39(3):1-6.
 [2]万曦,陆文钦,薛波,等.混合配电变压器无功和电压补偿控制策略研究[J].电力电子技术,2022,56(9):41-45.
 [3]刘世超,王银照,郑施,等.抑制直流连续换相失败的光伏无功补偿策略[J].计算机仿真,2022,39(9):101-107.
 [4]张会玲,李强.配电网无功补偿技术及其应用研究[J].电力系统自动化,2021,45(12):112-119.
 [5]王彬彬,陈晓东.基于多目标优化的配电网无功补偿装置配置方法[J].高电压技术,2022,48(5):1567-1575.