

新能源接入对农村电网稳定性的影响分析

沙小平

国网隆德县供电公司，宁夏固原市，756000；

摘要：本文聚焦新能源接入农村电网这一课题，详细剖析了农村电网负荷分散、网架结构薄弱、供电半径大及用电负荷季节性差异显著等特点，阐述了新能源以分布式（户用光伏等）和集中式（大型光伏电站等）接入的形式、逐年扩大的规模及增长趋势。深入探究了新能源接入对农村电网电能质量的影响，包括引发电压波动与闪变、造成谐波污染、加剧三相不平衡；分析了其对电压稳定性的影响，如导致无功功率失衡、增加控制难度及带来崩溃风险；探讨了其对频率稳定性的影响，涉及调频特性不足、引发频率波动及所需控制策略。并针对性提出电网规划与改造、电能质量治理、稳定性控制技术及协调管理机制等应对策略，为新能源与农村电网协同发展提供参考，助力农村能源结构优化与电力系统稳定运行。

关键词：新能源接入；农村电网；稳定性；影响分析

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.008

在国家积极推动新能源发展与乡村振兴战略深入实施背景下，农村地区新能源接入规模持续攀升，为农村能源结构转型注入强劲动力，但也给农村电网的安全稳定运行带来诸多挑战。农村电网本身具有负荷分散、网架薄弱、供电半径大等特性，而新能源的间歇性、波动性使其接入后，对电网的电能质量、电压稳定性及频率稳定性产生多方面且复杂的影响。本文首先阐述农村电网及新能源接入的现状，接着系统分析新能源接入对电网各方面的具体影响，进而提出切实可行的应对策略，最后总结研究结论并对未来发展趋势进行展望，旨在为保障新能源接入下农村电网的安全稳定运行提供坚实的理论与实践参考，推动农村能源事业健康发展。

1 农村电网及新能源接入现状

1.1 农村电网特点

农村电网与城市电网差异显著，负荷呈散点分布，农户居住分散导致用电点多面广，难以形成集中负荷区。网架结构较薄弱，线路多为单辐射状，分支线多且导线截面小，供电半径普遍超过城市电网，部分偏远地区可达数公里。用电负荷以居民生活和农业生产为主，季节性和时段性差异突出：夏季空调、冬季取暖使居民用电骤增，农忙时灌溉水泵、脱粒机等设备让生产用电飙升。同时，部分线路运行超期、老化严重，故障频发，供电可靠性远低于城市。

1.2 新能源接入农村电网的形式

新能源接入农村电网主要有分布式和集中式两种形式。分布式新能源涵盖户用太阳能光伏板、小型风力

发电机组、微型水力发电机等，通常直接接入低压配电网，紧邻用户侧。以农户屋顶光伏为例，其发电量优先满足自家生活用电需求，剩余电量接入电网供其他用户使用，这种方式能大幅减少电能传输过程中的损耗，实现能源就地消纳，与农村分散的用电特点相契合。集中式新能源指大规模太阳能光伏电站、风力电场、生物质能电站等，一般接入中高压电网，如连片建设的光伏扶贫电站，虽具备显著的规模效应，可集中为区域供电，但因其容量大、输出受自然条件影响波动强烈，对电网的调度能力和运行稳定性带来更复杂的挑战。

1.3 新能源接入农村电网的规模与趋势

随着国家政策扶持力度加大，农村新能源接入规模逐年攀升。太阳能光伏方面，户用光伏在山东、河南等地农村普及率快速提高，仅某县就有超万户农户安装；集中式光伏扶贫电站在中西部地区广泛布局，单站容量常达数十兆瓦。未来，随着光伏组件、风机成本下降及储能技术进步，新能源接入规模将持续扩大，预计五年内农村新能源占比将提升至30%以上，成为农村能源供应的重要组成部分。

2 新能源接入对农村电网电能质量的影响

2.1 电压波动与闪变

新能源发电的间歇性和波动性易引发电网电压波动与闪变。太阳能光伏发电受光照影响显著，云层快速掠过会使输出功率在短时间内大幅下降，导致接入点电压骤降；而阴转晴时，光照强度突然增强，发电功率急剧上升，又会使接入点电压飙升^[1]。农村电网负荷本就

分散,电压调节能力较弱,这种波动更为明显。电压频繁波动和闪变会导致农村居民家中的冰箱、空调等电器频繁启停,不仅影响正常使用,还会大幅缩短设备使用寿命。

2.2 谐波污染

新能源发电设备中的逆变器电力电子装置运行时,会产生大量谐波电流并注入电网,造成电压波形畸变,形成谐波污染。在农村电网中,谐波会使输电线路和变压器的损耗增加,导致电能浪费;还会干扰电能计量装置,造成计量偏差,影响电费结算的准确性。此外,谐波可能误动继电保护装置,使其在正常运行时跳闸,或在故障时拒动,同时干扰电网中的自动控制设备,严重威胁农村电网的安全稳定运行,不同新能源设备的谐波特性差异大,治理难度不小。

2.3 三相不平衡

农村电网原本三相负荷就存在不平衡,新能源接入后这一问题进一步加剧。分布式新能源如户用光伏多接入低压配电网,由于农户安装位置分散且用电情况不同,会导致三相电流分配不均。部分相别因接入光伏较多,电流过大,而其他相别电流较小。这种不平衡会使变压器局部过热,增加损耗,大幅缩短其使用寿命,还会导致电动机等三相设备运行时振动加剧、噪声增大、效率降低,甚至因过热损坏,影响农村生产生活用电。

3 新能源接入对农村电网电压稳定性的影响

3.1 无功功率平衡问题

新能源发电设备大多依赖电力电子装置并网,自身难以直接提供无功功率,大规模接入农村电网后,会打破原有的无功功率平衡。当新能源发电功率处于较高水平时,设备运行需从电网吸收大量无功功率以维持正常工作,这会导致接入点及周边区域电压显著降低。农村电网网架结构本就薄弱,线路导线截面小、供电半径长,无功损耗更大,电压降落现象更为突出,部分偏远地区电压甚至会超出允许偏差范围,需通过安装电容器、静止无功补偿器设备进行无功补偿,才能维持电压稳定。

3.2 电压控制难度增加

新能源接入使农村电网运行方式从单一电源辐射型向多电源分布式转变,电压控制难度大幅提升。传统电压控制方法基于固定负荷模型和网络结构,通过调节变压器分接头、投切电容器等方式实现,难以应对新能源的间歇性和波动性。新能源发电功率可能在短时间内剧烈变化,如正午光伏功率骤增或阵风时段风电突升,

会导致电网电压快速波动^[2]。加之分布式新能源接入点分散,涉及众多低压用户侧,进一步扩大了电压监测和控制的范围,增加了精准调控的难度。

3.3 电压崩溃风险

在极端情况下,若新能源接入规模远超电网承载能力,且调节机制未能及时响应,极易引发电压崩溃。当遭遇连续阴雨导致光伏功率骤降、突发强风致使风电中断等情况时,新能源发电输出会突然大幅下降,若电网无法快速补充有功功率和无功功率,电压将进入持续下降的恶性循环。随着电压降低,电动机等用电设备启动困难、效率下降,进一步加剧有功和无功缺额,最终引发电压崩溃,造成农村地区大面积停电,严重影响农业灌溉、居民生活用电,甚至可能危及重要基础设施的正常运行。

4 新能源接入对农村电网频率稳定性的影响

4.1 新能源发电的调频特性

新能源发电如太阳能、风能等,输出功率完全受自然条件支配,光照强度的瞬间变化、风速的细微波动,都会引发功率的快速起伏。传统同步发电机依靠机械惯性,能随电网频率波动自动调整输出功率,而新能源发电设备缺乏这一特性,无法根据频率变化实时调节功率。当农村电网因突发负荷增加或线路故障出现频率波动时,新能源设备无法及时响应,难以提供有效的调频支持。这使得农村电网在应对用电负荷骤变和突发故障时,频率调节的灵活性与有效性大幅降低,给电网的稳定运行带来较大压力。

4.2 频率波动问题

新能源接入农村电网后,其输出功率的随机性和波动性会打破电网有功功率的平衡状态,进而引发频率波动。例如,阴天突然放晴时,光伏功率会在短时间内大幅攀升;阵风天气中,风电功率会急剧变化,这些情况都会导致电网频率偏离额定值。频率波动不仅会缩短普通家电的使用寿命,还会对农村地区的精密加工设备、医疗仪器等对频率敏感的设备造成严重影响,可能导致设备运行异常、数据失真,甚至直接损坏,给农业生产的精准作业和居民的正常生活带来诸多不便与损失。

4.3 频率稳定控制策略

为提高农村电网在新能源接入后的频率稳定性,需从设备与电网两个层面制定控制策略。设备层面,改进新能源发电设备的控制算法,引入虚拟同步发电机技术,模拟传统发电机的调频特性,使其能根据电网频率变化

主动调整输出功率, 增强响应能力^[3]。电网层面, 加大储能装置的部署, 利用蓄电池、飞轮储能等设备快速吸收或释放功率, 平抑频率波动; 同时优化负荷控制方案, 通过分时电价等需求响应机制, 引导用户在新能源功率波动时错峰用电, 形成多方协同的频率稳定维护体系。

5 应对新能源接入影响的策略

5.1 电网规划与改造

加强农村电网规划与改造是应对新能源接入的基础工程。需结合区域新能源分布密度与增长潜力, 科学优化网架结构, 将单辐射线路逐步改造为环网结构, 增大导线截面以提升输电容量。对供电半径较大的偏远区域, 增设配电变压器, 缩短供电距离。全面排查老旧线路和设备, 统一更换为耐腐蚀、高绝缘性能的新型设备, 降低故障发生率。同时, 按新能源预计接入量适当预留接入容量和接口, 确保未来数年新能源项目能顺畅并网, 为大规模接入提供硬件支撑。

5.2 电能质量治理措施

针对新能源接入引发的电能质量问题, 实施多维度治理方案。在分布式新能源集中的村落, 合理配置谐波滤波器, 精准过滤特征谐波; 在集中式电站接入点安装动态无功补偿装置, 快速响应并实时平抑电压波动。在三相负荷失衡严重区域, 部署智能负荷平衡器, 自动监测并调节三相电流, 控制不平衡度。构建覆盖全网的电能质量监测系统, 定期生成监测报告, 发现异常立即触发预警, 确保电能质量达标。

5.3 稳定性控制技术

运用先进技术提升电网对新能源的适应能力。搭建智能电网监测平台, 整合新能源发电数据与电网运行参数, 通过算法预测功率波动趋势, 提前调整变压器分接头和电容器投切状态^[4]。在新能源集中区域推广“光伏+储能”模式, 合理配置储能设备, 在功率骤升时吸收电能, 骤降时释放电能, 平抑电压和频率波动, 增强电网运行稳定性。

5.4 协调管理机制

构建多方协同的管理体系, 明确新能源企业、电网公司、农户的权责。成立专项协调小组, 定期召开联席会议, 解决并网难题。联合制定《农村新能源接入技术规范》, 对设备选型、并网测试等指标作出明确规定。引入高精度预测系统, 结合气象数据提高短期发电预测精度, 据此制定调度计划。建立用户响应机制, 通过峰

谷电价引导农户错峰用电, 提高新能源消纳能力, 减少因发电波动对电网稳定性造成的影响, 实现各方利益平衡与电网稳定双赢。

6 结论与展望

6.1 研究结论

新能源接入农村电网带来显著机遇与挑战。机遇方面, 不仅优化了农村能源结构, 减少对传统能源依赖, 还通过光伏扶贫等项目促进农村经济发展, 助力乡村振兴。挑战则体现在对电网多方面的影响, 如引发电压波动、谐波污染等电能质量问题, 加剧电压与频率稳定性风险。通过分析可知, 需统筹采取电网改造、质量治理、技术控制及机制协调等综合措施, 才能有效应对挑战, 保障农村电网稳定运行, 实现新能源与农村电网的协同发展。

6.2 未来展望

未来, 随着新能源技术的不断发展和农村电网的智能化升级, 新能源在农村地区的应用前景将更加广阔。一方面, 新能源发电设备的性能将不断提高, 其对电网稳定性的影响将逐渐减小。例如, 新型的新能源发电控制技术将使新能源发电设备具备更好的调频和调压能力。另一方面, 农村电网将朝着智能化、柔性化方向发展, 能够更好地适应新能源的接入。同时, 储能技术、分布式能源管理技术等的应用也将为新能源在农村电网中的大规模应用提供有力支持。我们需要持续关注新能源接入对农村电网稳定性的影响, 不断探索和创新应对策略, 推动农村电网与新能源的协调发展。

参考文献

- [1] 张登义. 分布式电源及其并网对电力系统的影响研究[J]. 科技风, 2021, (17): 193-195.
- [2] 陈运蓬, 景超, 白静波, 等. 基于集成学习的新能源发电功率预测[J]. 太阳能学报, 2024, 45(06): 412-421.
- [3] 王倩. 虚拟同步发电机对系统低频振荡特性的影响研究[D]. 华北电力大学, 2021.
- [4] 杨敏, 董志超. 双碳目标下高比例新能源接入的农村电网规划技术研究[J]. 电工技术, 2024, (S2): 309-310.

作者简介: 沙小平, 1995 年 7 月, 男, 回族, 宁夏固原人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力系统。