

分布式光伏接入下配网运维与自动化适配技术研究

单红波

徐州三新供电服务有限公司贾汪分公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22249

[摘要] 随着分布式光伏大规模多点接入配电网,传统配电网单向供电模式被打破,电网运行特征发生明显改变。现有配网运维机制、设备选型及自动化系统均按单向供电设计,难以适应有源电网实际工况,电压波动、潮流异常等问题逐步显现。立足配网数字化升级发展方向,文中梳理光伏并网引发的运维、设备及控制层面现实问题,研究适配关键技术,给出配网改造和调控优化措施,为分布式光伏安全并网与配电网稳定运行提供实际借鉴。

[关键词] 分布式光伏; 配网运维; 自动化适配技术

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A

Research on Distribution Network Operation and Maintenance and Automation Adaptation Technologies with Distributed Photovoltaic Integration

Hongbo Shan

Jiawang Branch of Xuzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd.

[Abstract] With the large-scale and multi-point integration of distributed photovoltaic systems into distribution networks, the traditional unidirectional power supply model has been disrupted, resulting in significant changes in power grid operating characteristics. Existing distribution network operation and maintenance mechanisms, equipment selection, and automation systems are primarily designed for unidirectional power supply and are therefore unable to fully adapt to the actual operating conditions of active distribution networks. Problems such as voltage fluctuations and abnormal power flows have gradually emerged. In line with the development trend of digital upgrading in distribution networks, this paper analyzes practical problems at the operation and maintenance, equipment, and control levels caused by photovoltaic grid integration, investigates key adaptation technologies, and proposes distribution network renovation and control optimization measures, providing practical guidance for the safe grid integration of distributed photovoltaic systems and the stable operation of distribution networks.

[Key words] distributed photovoltaics; distribution network operation and maintenance; automation adaptation technologies

引言

国内分布式光伏装机体量不断扩大,低压配网成为新能源接入的主要载体。传统配网按照单向供电模式搭建,运维流程、自动化控制策略均以普通用电负荷作为设计前提。光伏接入后电网潮流、电压状态频繁变化,原有管控方式逐渐跟不上现场实际工况。结合现阶段配网智能化建设现实条件,针对光伏并网带来的各类适配难点开展技术分析,有助于提升电网接纳新能源的实际能力,保障配电网安全平稳运转。

1 分布式光伏并网下配网运行现状及核心问题

当前国内分布式光伏呈现分散式、规模化、全覆盖的并网特点,县域、乡村低压台区成为光伏并网的核心区域,光伏并网

数量和装机容量逐年翻倍增长。传统配电网的设备配置、运维机制、自动化控制系统均服务于自上而下的单向供电模式,电源侧稳定性强、潮流方向固定,运维工作以设备巡检、故障排查、定期检修为主,自动化系统仅需完成基础的监测、跳闸保护等固定操作^[1]。分布式光伏大规模接入后,配电网从无源网络转变为有源网络,用户侧从单一用电主体转变为发用电双向主体,配网整体运行特性发生根本性改变。光伏出力受光照、天气、时段影响极大,日间发电功率波动频繁,夜间完全停机,导致配网台区负荷、潮流、电压参数实时变动,部分台区出现反向送电、电压越限、负荷过载等常态化问题。从运维层面来看,原有人工巡检、定期运维的模式无法适配动态变化的电网运行状态,运维人

员难以实时掌握海量光伏设备的运行数据,故障点位排查、异常问题处置效率大幅下降。老旧台区的配电设备、开关设备未针对光伏双向并网改造,频繁的功率波动会加剧设备损耗,设备故障发生率持续提升。从自动化运行层面来看,现有配网自动化系统的数据采集、调控逻辑、保护策略均基于传统供电场景设计,无法适配光伏并网后的双向潮流运行状态。系统存在光伏数据采集不全、功率调控滞后、故障识别不准等问题,无法实现对分布式光伏的精准管控。同时,海量分布式光伏设备接入后,电网数据体量大幅增长,原有数据处理体系算力不足、数据传输延迟,无法支撑实时监测和动态调控需求。

2 分布式光伏接入配网的核心适配短板

2.1 配网运维模式适配短板

传统配网运维采用固定周期、分区负责的标准化模式,工作内容集中在设备定期检修、线路故障抢修、台区负荷统计等常规工作,运维流程固定、工作节奏可控。分布式光伏分散并网后,配网运行状态无固定规律,不同台区、不同时段的光伏出力、电网负荷差异较大,传统固定运维模式无法匹配动态运行需求。基层运维人员缺乏光伏并网场景的专项运维经验,针对电压波动、反向潮流、光伏脱网等新型异常问题,没有成熟的处置流程和运维标准。同时,现有运维体系未实现光伏设备与配电设备的一体化运维,光伏设备由用户自行管理,配电设备由供电部门运维,双方数据不互通、运维不同步,设备故障、运行异常问题无法及时联动处置。海量小型分布式光伏设备分布零散,人工全覆盖排查难度极大,隐形故障、长期异常运行问题难以被发现,持续影响配网运行质量,整体运维效率和运维精准度难以适配当前光伏规模化并网的发展现状。

2.2 配网自动化设备适配短板

现有配网自动化终端、开关、保护装置等设备,均按照单向供电工况设定参数和运行逻辑,核心适配负荷用电场景,未考虑分布式光伏并网后的双向潮流工况。光伏并网后,线路潮流双向流动,原有保护装置的故障判定标准失效,容易出现误跳闸、拒动等问题,同时无法识别光伏侧引发的电网异常问题。多数老旧台区的自动化终端数据采集精度低、采集频次不足,只能采集常规电网数据,无法获取光伏出力、逆变器运行状态、并网开关工况等关键信息。传统自动化设备不具备动态调控能力,仅能执行固定指令,无法根据光伏出力波动实时调整配电参数。部分存量光伏逆变器为传统跟网型设备,电网电压、频率波动时无法自主调节,缺乏主动支撑电网的能力,容易出现批量脱网问题^[2]。此外,现有自动化设备的通信传输能力有限,海量光伏设备并网后,数据传输拥堵、延迟问题突出,无法实现光伏运行状态的秒级监测与调控,设备硬件层面的适配不足直接制约自动化系统运行效果。

2.3 配网自动化系统功能适配短板

当前在用的配网自动化主站系统,核心功能聚焦传统电网的监测、保护、故障处置,针对分布式光伏并网的专项功能存在明显缺失。系统拓扑辨识能力不足,无法精准识别光伏并网后的

台区拓扑变化,难以定位光伏异常对应的电网点位。数据处理模块仅适配稳定电网数据,针对光伏出力的随机性、波动性数据,无法完成有效分析和研判,不具备光伏出力预测、台区负荷预判的基础能力。系统调控模式较为被动,仅能在电网出现故障后执行保护动作,无法提前预判光伏并网带来的电压越限、功率过载等风险,缺乏前置预警和主动调控功能。同时,自动化系统未搭建光伏与电网的协同调控机制,无法实现多台区分布式光伏的广域协同优化,单台区光伏功率波动无法通过邻区负荷调剂实现平衡。系统数据互通性不足,光伏云平台、调度主站、台区自动化终端数据割裂,无法实现数据共享、联动调控,整体智能化、协同化水平无法适配新能源并网场景。

3 分布式光伏接入配网的自动化适配关键技术

3.1 云边端协同感知与数据适配技术

针对分布式光伏分散并网、数据零散、感知不全的问题,当前行业主流采用云边端协同感知技术,搭建全覆盖、高精度、低延迟的配网光伏感知体系,适配海量光伏设备的并网数据监测需求。该技术分为终端层、边缘层、云端层三个层级,各层级分工明确、协同运行,解决传统感知体系数据采集不全、传输滞后、处理低效的问题。终端层通过升级智能采集终端、并网网关设备,在光伏并网点、配电台区、线路关键节点部署感知设备,全面采集光伏出力、逆变器工况、电网电压、电流、功率等全维度运行数据,实现所有并网光伏设备的状态全覆盖监测。现阶段低压台区光伏并网点位分散、设备型号杂乱,老旧终端不兼容新型光伏设备数据采集的问题普遍存在,升级改造终端感知设备,能够从源头补齐配网光伏数据采集盲区,夯实智能化监测的基础条件。边缘层依托台区边缘计算网关,完成本地数据的实时处理、筛选和分析,无需将所有数据上传云端,可就地完成光伏异常识别、数据纠错、简单调控指令下发等操作,大幅降低数据传输延迟,提升响应速度^[3]。云端层负责汇总各边缘节点数据,完成全域光伏运行数据的统计、研判、趋势分析,搭建统一的光伏运行数据台账。该技术实现光伏数据一发双收,同步上传至电网调度主站和光伏运维平台,解决数据割裂问题。通过云边端协同架构,能够实现分布式光伏秒级数据采集和状态感知,精准掌握各台区光伏运行动态,为后续自动化调控、运维优化提供数据支撑,适配光伏出力动态波动的运行场景。

3.2 构网型光伏自适应并网适配技术

传统跟网型光伏逆变器依赖电网电压、频率稳定运行,电网出现小幅波动时就容易批量脱网,无法主动支撑电网运行,是光伏并网适配的核心设备痛点。构网型光伏自适应并网技术是当前适配分布式光伏并网的核心新型技术,可实现光伏并网模式的自主切换,提升光伏设备与配网的适配能力。该技术改造升级原有光伏逆变器控制逻辑,新增电网状态自主识别、参数自适应调节功能,打破传统光伏被动并网的运行模式。目前大量存量户用光伏、小型工商业光伏仍在使用传统跟网型逆变器,这类设备抗干扰能力差,极端天气、用电高峰时段极易出现批量脱网,影响配网供电稳定性,设备升级改造的刚需持续提升。在电网运行

状态稳定时,设备以跟网模式运行,保持常规并网发电状态;当配网出现电压波动、频率偏移、反向过载等异常工况时,设备可自动切换为构网模式,主动调节输出功率、稳定电网电压和频率,避免脱网事故发生。该技术无需大幅改造配网主设备,仅通过逆变器功能升级和控制逻辑优化,就能提升光伏设备的电网适应能力,解决台区电压越限、功率波动、反向重过载等常见问题。

3.3 配网拓扑智能辨识与故障自适应处理技术

分布式光伏随意并网、改造扩容,导致配网台区拓扑结构频繁变动,传统人工拓扑录入、故障判定方式效率低、误差大,无法适配动态变化的电网结构。配网拓扑智能辨识与故障自适应处理技术,可实现光伏并网后配网拓扑的自动识别、动态更新和故障精准处置,提升自动化系统的适配能力。该技术依托终端采集的实时运行数据,通过数据比对、逻辑研判,自动梳理台区线路、配电设备、光伏并网点位的连接关系,精准识别拓扑变更点位,实时更新电网拓扑台账,替代传统人工录入模式^[4]。基层配网台区数量多、分布广,人工台账更新存在滞后性、错漏率高的问题,智能辨识技术可彻底解决人工运维带来的各类拓扑管理漏洞。针对光伏并网引发的新型故障问题,该技术优化自动化保护逻辑,摒弃传统单一故障判定标准,结合双向潮流运行特征,区分电网侧故障和光伏侧故障,精准定位故障区域、故障类型。系统可根据故障工况自动执行分段跳闸、负荷转移、光伏脱网保护等操作,避免故障范围扩大。同时,该技术具备故障恢复自适应能力,故障消除后,可根据当前光伏出力 and 负荷状态,自动匹配最优供电恢复方案,快速恢复台区供电。该技术解决了拓扑变动频繁、故障识别不准、处置滞后的问题,实现配网故障处置的智能化、自适应化,适配有源配电网运行场景。

3.4 广域协同智能调控适配技术

传统配网自动化调控以单台区独立调控为主,缺乏跨台区协同能力,无法解决区域内光伏功率分布不均、消纳失衡的问题。广域协同智能调控技术是当前新型配电网建设的核心技术,可实现多台区分分布式光伏的统一管控、协同优化,全面提升配网自动化调控适配水平。该技术打破单台区调控壁垒,整合区域内所有并网光伏设备、配电设备、可调负荷资源,搭建全域协同调控体系,实现区域电网资源的动态优化配置。当前城乡配网台区负荷差异大,城郊台区光伏富余、乡村台区负荷不足的失衡问题

普遍,单台区调控模式已经无法适配区域新能源统筹消纳的发展需求。系统通过云端数据研判,提前预判各时段光伏出力趋势和台区负荷变化,针对光伏出力过剩、台区过载、电压异常等问题,提前制定调控方案。通过柔性开关、可逆逆变器等设备,实现跨台区功率调剂,将光伏富余功率转移至负荷缺口台区,平抑区域内功率波动,解决局部光伏消纳不足、电压越限等问题^[5]。同时,该技术适配新能源市场化运行需求,可根据电网运行状态和并网要求,自动调整光伏有功、无功功率输出,实现分布式光伏的精细化、智能化管控,推动配网从被动适配光伏并网,转变为主动统筹光伏资源运行,全面适配分布式光伏规模化、高密度并网的发展趋势。

4 结语

大规模分布式光伏接入,彻底改变了原有配电网的运行特征。现有运维方式、自动化硬件及平台功能未能跟上新能源接入需求,制约配电网安全可靠运行。本文梳理光伏并网带来的配网适配矛盾,围绕云边端感知、构网型并网、拓扑识别、广域协同调控等实用技术开展分析,以此缓解电压波动、故障频发、管控滞后等现实难题,强化配网运维与调度管控水平。今后还需迭代技术方案,健全运维保障机制,助力新型电力系统建设,保障光伏资源充分消纳。

[参考文献]

- [1]向召平,向振东,张嘉文.分布式光伏接入下营销线损适配计算技术[J].中国高新科技,2026,(6):63-64+67.
- [2]于军.光伏并网对配电网继电保护的影响与运维技术研究[J].电力设备管理,2026,(10):140-142.
- [3]陈锦词.分布式光伏电源接入对配网运维检修安全生产作业的影响分析[J].机电信息,2020,(21):143-144.
- [4]马成元.多区域分布式光伏发电系统协同设计研究[J].铁道勘测与设计,2026,(3):26-30.
- [5]牛玉洁,李伟娜.面向分布式能源消纳的配电网数字化运营管理系统关键技术研究[J/OL].中国科技期刊数据库工业B,2026,(1):013-016.

作者简介:

单红波(1988--),男,汉族,江苏徐州人,本科,中级工程师,研究方向:电力工程技术。