

研讨分布式光伏接入电力系统的影响及调控

庞 峻

玉林市福泰投资集团有限公司 广西 玉林 537000

摘 要：随着分布式光伏规模化发展，其接入电力系统的影响及调控成为重点研究方向。本文分析其接入电力系统对电压波动、潮流分布、短路电流、继电保护及电能质量的多维度影响，包括电压越限、潮流反向、短路电流增大、保护误动及谐波超标等问题。针对上述问题，探讨对其无功补偿、潮流优化、限流措施、自适应保护及谐波治理等综合调控手段。本研究为提升分布式光伏并网兼容性、保障系统安稳运行提供理论与技术参考。

关键词：研讨分布式光伏；接入电力系统；影响；调控

引言：在全球能源转型与“双碳”目标推动下，分布式光伏装机容量快速增长，成为优化能源结构的重要力量。不过，其出力具有的波动性、随机性和分散性特点，给电力系统带来诸多新挑战，电压调节变难、潮流分布复杂化、继电保护适应性变差、电能质量下降等问题愈发突出。在此背景下，深入研究分布式光伏接入的影响机理，构建科学调控体系十分关键，这是实现高比例新能源友好并网、保障电力系统安全经济运行的核心，也能为分布式光伏可持续发展提供理论支撑。

1 分布式光伏接入电力系统的概述

分布式光伏作为新型能源利用形式，遵循就近发电、并网、转换及负荷分配原则，在全球能源转型中地位关键。其通过光伏电池组件将太阳能转化为直流电，经直流汇流箱与配电柜整合，经并网逆变器逆变供交流负载使用，常以自发自用余电上网模式运行或不足时从电网取电。接入点的选择依据系统规模、电网条件及设施状况，优选电网稳定、负荷集中且易维护处。相较传统集中式发电，分布式光伏优势显著，输出功率虽小但各方面影响小，契合环保需求；可缓解局地用电紧张，发电用电并存，就地消纳电能，减少输电损耗。且其安装灵活，能充分利用各类建筑屋顶等空间，是推动能源清洁化、提升电网可靠性与灵活性的重要力量^[1]。

截至2025年8月，玉林福绵增量配电网分布式光伏项目装机容量及网架分布如图1：

2 分布式光伏接入对电力系统的影响

2.1 对电压的影响

2.1.1 电压波动与越限原理

分布式光伏的输出功率随光照强度、温度等因素剧烈波动。当发电功率远超负荷需求，大量电能反向注入电网，使线路电流方向改变，根据欧姆定律，线路压降反向，造成电压升高。反之，光照不足时，发电功率骤

降，无法满足负荷需求，电压便会降低。这种频繁的功率波动，使电压在短时间内大幅变化，极易突破电网规定的电压允许范围，导致电压越限，影响设备正常运行。

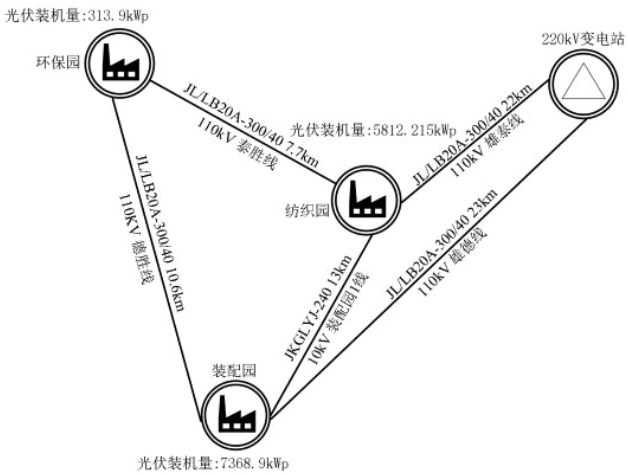


图1 分布式光伏项目装机容量及网架分布

2.1.2 影响因素分析

光照条件是影响分布式光伏输出功率的关键因素，云层快速移动、昼夜交替等，会导致光照强度瞬间变化，使功率输出大幅波动，进而影响电压稳定性。若接入容量过大，超出电网承受能力，其输出功率变化对电压的影响会被放大，增大电压越限风险。

2.2 对潮流的影响

2.2.1 潮流方向改变

传统电力系统中，潮流由发电端向负荷端单向流动。分布式光伏接入后，潮流方向变化。在光照充足、负荷较轻时，分布式光伏输出功率大于本地负荷需求，多余电能反向注入电网，潮流方向逆转。例如在白天居民用电低谷期，屋顶分布式光伏大量发电，潮流从用户侧流向变电站方向。

2.2.2 功率分布变化

分布式光伏接入位置与容量,会显著改变电网功率分布。接入点附近,功率注入导致该区域功率占比大幅提升。当多分布式光伏在不同位置接入,电网功率分布呈现复杂态势,部分线路功率骤增,部分则减少。接入容量越大,对功率分布改变越明显。不合理的功率分布会增加线路损耗,影响电网运行经济性,还可能致使局部电压异常波动。

2.3 对短路电流的影响

2.3.1 短路电流增大原理

分布式光伏接入电力系统后,在短路故障瞬间,逆变器会迅速响应,向故障点注入短路电流,并网逆变器将光伏组件发出直流电DC逆变为交流电AC,故障时,为维持自身运行与能量平衡,会改变输出特性,向故障点提供额外短路电流。随着分布式光伏装机容量增加,汇流的逆变器共同作用,使短路电流大幅上升,打破原有短路电流水平,给系统运行带来新挑战。如下图所示。

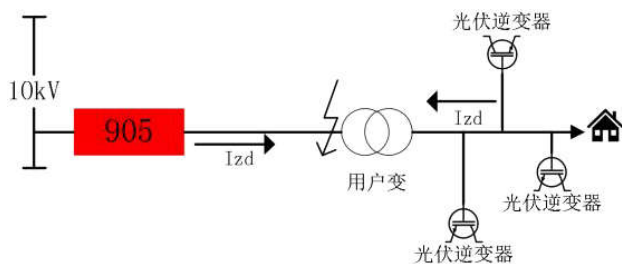


图2 光伏返送故障电流示意

2.3.2 对设备及保护的影响

短路电流增大对设备保护影响显著。过高的短路电流会产生强大电动力与热效应,冲击电气设备,加速设备绝缘老化,降低使用寿命,严重时瞬间损坏设备。另外,传统继电保护装置依据原有短路电流水平整定,当短路电流增大后,可能导致保护误动作或拒动作,如:①过流保护可能提前动作,切除本不该切除的线路;②因电流超出设定范围而拒动,威胁电力系统安全稳定运行。

2.4 对继电保护的影响

保护误动与拒动分析

分布式光伏接入后,改变配电网故障电流分布与流向。传统继电保护按单向潮流整定,当分布式光伏在故障时向故障点注入短路电流,可能导致保护装置采样异常电流。分布式光伏接入位置与容量的不确定性,增加保护配置与整定难度。接入点附近短路电流增大,远离点短路电流可能减小,传统三段式电流保护难以兼顾。

2.5 对电能质量的影响

谐波产生与电压闪变

分布式光伏系统中的逆变器是产生谐波的主因。其

内部功率开关器件高频运作,如IGBT在开关过程中,电压与电流急剧变化,致使输出波形偏离正弦波,产生谐波。加之脉宽调制(PWM)技术虽能调控输出,但PWM信号自身富含谐波成分。且光伏组件输出的直流电压受光照、温度影响而波动,逆变器为稳定交流输出,调整开关动作,进一步加大谐波含量。当光照突变,如云层快速遮挡,光伏功率骤降或陡升,引起接入点电压短时间内大幅变化,形成电压闪变^[2]。

3 分布式光伏接入电力系统的调控策略

3.1 电压调控策略

无功补偿技术

无功补偿技术可有效应对分布式光伏接入导致的电压问题。分布式光伏接入改变电网潮流,使电压波动、越限。静止无功发生器(SVG)、静止无功补偿器(SVC)等设备能快速响应,输出容性或感性无功功率。当分布式光伏功率波动引发电压上升时,SVG可输出感性无功,抵消多余无功,稳定电压。反之,电压降低时输出容性无功,提升电压。合理配置无功补偿设备,能调节电网无功功率,减少电压波动,提升电能质量。

3.2 潮流调控策略

3.2.1 优化分布式光伏布局

优化分布式光伏布局需综合考量资源、负荷与电网条件。资源评估上,分析太阳能辐照度时空分布,结合组件性能建模适配区域。如福绵环保园区屋顶光伏,参考当地光照与建筑情况,确定合适安装位置与倾角。负荷特性分析上,解析峰谷差、波动率等指标,构建时序匹配模型,使光伏发电与负荷高峰契合。电网条件约束为节点电压偏差、谐波畸变率及渗透率限制等。利用粒子群算法等多目标优化算法,同步优化光伏位置与容量,降低网损、提升电压稳定性,让分布式光伏接入促进电网潮流合理分布^[3]。

3.2.2 应用潮流控制设备

应用潮流控制设备可精准调控潮流。统一潮流控制器(UPFC)集成串联、并联逆变器,能同时调节有功、无功功率,改善系统稳定性与传输效率。新型混合潮流控制器结合移相变压器(PST)的高可靠性、低成本与级联H桥换流器(CHBC)的灵活性,PST逐级调挡接近目标功率,CHBC补偿剩余差值。河北电科院研制的基于旋转移相变压器的调控装置,通过矢量控制技术,注入串联电压解耦控制功率,解决线路电压越限、负荷过载等问题,提升配电网承载与运行效率^[4]。

3.3 短路电流调控策略

3.3.1 安装限流电抗器

安装限流电抗器是调控短路电流的有效手段。在分布式光伏接入点或关键线路上安装该设备,能增加线路阻抗。当短路故障发生,短路电流急剧上升,限流电抗器的感抗发挥作用,限制电流上升速度,降低短路电流幅值。合理选择安装位置与容量,可使短路电流水平降至原有继保装置可承受范围,减轻短路电流对设备的冲击,保护电气设备安全,保障电力系统稳定运行。

3.3.2 改进逆变器控制策略

改进逆变器控制策略可有效调控短路电流。传统逆变器在故障发生时向故障点注入短路电流,加剧短路情况。通过改进控制算法,使逆变器在检测到短路故障瞬间,快速调整输出特性,减少或切断短路电流注入。例如采用虚拟同步机控制策略,模拟同步发电机运行特性,故障时主动限制电流输出。优化后的逆变器控制策略,能更好适应分布式光伏接入后的电网运行需求,提升系统故障应对能力。

3.4 继电保护调控策略

3.4.1 自适应继电保护

自适应继电保护可依据电网实时运行状态,动态调整保护特性与整定值。其通过智能算法,实时采集分布式光伏接入点及周边线路的电压、电流、功率等电气量数据。在光照突变导致光伏输出功率大幅变化时,自适应继电保护能快速感知故障电流、电压的变化规律,自动修正保护动作门槛与时限。相较于传统固定参数的继电保护,它能更好地适应分布式光伏接入后的复杂工况,有效避免因光伏功率波动引发的保护误动与拒动,提升继电保护对电网运行状态变化的响应能力,确保在各种情况下都能准确、快速地隔离故障^[5]。

3.4.2 增设分布式电源保护装置

增设专门的分布式电源保护装置,能针对性解决分布式光伏接入后的保护难题。此类装置具备独立的检测与判断功能,可精准识别分布式光伏的孤岛运行状态。当电网因故障停电,保护装置迅速动作断开光伏与电网连接,保障检修人员安全与电网设备正常运行。

3.5 电能质量调控策略

3.5.1 谐波治理措施

分布式光伏系统中的逆变器等电力电子设备易产生谐波,可采用多种措施治理。安装无源滤波器是常见手段,由RLC谐振原理,在特定谐波频率下呈低阻

抗,将谐波电流分流,滤除固定频率谐波,但易受系统阻抗影响,与系统发生谐振。有源滤波器则借助电力电子技术,实时检测并生成与谐波电流大小相等、方向相反的补偿电流,能快速响应谐波动态变化,适用于谐波含量波动大的场景。

3.5.2 电压闪变抑制方法

电压闪变主要源于分布式光伏输出功率的快速波动。可利用静止无功补偿器(SVC)与静止同步补偿器(STATCOM)等无功补偿设备抑制。SVC通过调节晶闸管控制电抗器(TCR)和固定电容器(FC),快速改变无功功率输出,稳定电压;STATCOM采用全控型电力电子器件,能更精准、迅速地输出容性或感性无功,高效平抑电压闪变。在分布式光伏集中区域,配置储能装置也十分有效,如锂电池储能系统^[6]。

结束语

分布式光伏接入电力系统,为能源清洁化转型注入活力,却也带来电压、潮流、短路电流、继电保护及电能质量等多方面挑战。从电压调控的无功补偿、有载调压,到潮流优化的布局调整、设备应用,再到短路电流与继电保护的针对性策略,以及电能质量的谐波治理与闪变抑制,各项调控策略相辅相成。随着分布式光伏装机规模持续扩张,后续需深入探究其与储能、智能电网融合路径,挖掘协同优化的潜力。

参考文献

- [1]韩肖清,李廷钧,张东霞,等.双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J].高电压技术,2021,47(9):3036-3046.
- [2]丁明,石雪梅.新能源接入对主动电力系统的影响[J].电力建设,2021,36(1):76-84.
- [3]崔查秀.分布式光伏接入配电网继电保护的解决方案[J].光源与照明,2021(2):130-131.
- [4]丁明,王伟胜,王秀丽,等.大规模光伏发电对电力系统影响综述[J].中国电机工程学报,2014,34(1):1-8.
- [5]罗剑波,陈永华,刘强,等.大规模间歇性新能源并网控制技术综述[J].电力系统保护与控制,2014,42(22):140-145.
- [6]樊世超,赵丹.大规模分布式光伏接入对电网调控运行的影响与展望[J].农村电气化,2020(07):55-56,59.