

# 整村汇流光伏并网模式的安全稳定性研究

姜玉琳 杨光 刘南

国家电网大连供电公司 辽宁大连 116001

**摘要：**整村汇流光伏并网模式作为分布式光伏规模化运用的关键形态，于乡村能源转型当中施展着核心效用。其安全平稳性径直关联到乡村配电网的可靠运转与光伏能源的高效消纳。本文依托整村汇流光伏并网的技术构造，深刻解析作用于系统安全平稳运转的核心要素，涵盖光伏出力波动性、汇流装置协同控制属性、配电网接入适配性及故障传播原理等；契合并网运转的核心冲突，从控制策略优化、电网适配改造、保护机制健全三个层面提出针对性提升途径，为整村汇流光伏并网模式的安全推广与高效运转供给理论与技术参照。

**关键词：**整村汇流；光伏并网；安全平稳性；配电网；控制策略

## 引言

在“双碳”目标引导之下，乡村能源清洁化转型步伐持续加快，整村汇流光伏并网模式因持有资源运用效率高、建设运维集中、投资回报稳固等长处，变成乡村分布式光伏发展的主流走向。该模式借助把村内零散的光伏组件出力经汇流箱聚集之后，统一接入乡村配电网，达成了光伏能源的规模化运用。然而与此同时，光伏出力的间歇性与波动性、汇流环节的协同控制难度、配电网原有构造与光伏接入的适配性欠缺等难题，均对系统的安全平稳运转形成挑战。若缺失有效的管控手段，或许引发电压波动、频率偏移甚至故障扩展等状况，影响乡村生产生活用电安全。所以，深刻研究整村汇流光伏并网模式的安全平稳运行规律，探寻科学的提升策略，对于推动乡村能源转型、保障配电网可靠运转具备重要现实价值。本文立足整村汇流光伏并网的技术本质，聚焦安全平稳运行的核心诉求，从影响因素剖析、优化策略构建等方面展开深刻探究，为该模式的规范化运用提供支撑<sup>[1]</sup>。

## 一、整村汇流光伏并网模式的技术架构与运行特性

### 1. 技术架构组成

整村汇流光伏并网模式的技术架构主要由光伏组件、汇流箱、逆变器、配电网接入装置及监控系统组成。其中，光伏组件作为能量转换核心，将太阳能转变为直流电能；汇流箱担负零散出力的聚集功能，通过多路输入、一路输出的设计，达成对零散光伏组件出力的集中管控，同时具备过流保护、防雷等基础安全功能；逆变器负责把聚集后的直流电能转变为与配电网电压、频率匹配的

交流电能，是实现光伏出力并网的关键设备；配电网接入装置包含升压变压器、断路器等，用于实现光伏出力与乡村配电网的平稳衔接；监控系统则对各环节运行状态进行实时监测，及时察觉并预警运行异常。从能量行走路径而言，村落里分散排列的光伏部件所生成的直流电力，最先汇聚到汇流箱之中，经过汇流箱的整合操作之后，被传送到逆变器那里，逆变器完成交流与直流的转换工作后，通过接入设备并入乡村的配电网，最终达成电力的消耗或者输送进程<sup>[2]</sup>。

### 2. 核心运转特征

整座村庄汇流光伏并网模式的运行特点主要体现在三个层面：其一为输出的起伏性与断续性，光伏的输出受到光照强度、温度、天气等自然要素的强烈作用，存在显著的日间波动和季节更替情况，并且具备不可预测的属性，这种特点会造成汇入配电网的电力功率不断变化，给配电网的功率均衡带来难题；其二是汇流环节的协作性，在整个村庄范围内，光伏部件数量众多、分布零散，涉及屋顶、院落、村集体闲置场地等多种安装场景，不同场景的光伏组件受环境影响程度差异明显，汇流箱需要实现多路径输出的高效聚集与协同管理控制，如果汇流箱的运行状态不一致或者控制逻辑不合理，就可能造成汇流效率降低，甚至引发局部电流过大、电压过高之类的问题。

## 二、整村汇流光伏并网模式安全稳定性的核心影响因素

### 1. 光伏输出起伏性的冲击效应

光伏输出的起伏性是影响整村汇流光伏并网安全稳

定的首要因素。鉴于光照强度具有实时变化的特性，光伏部件的输出功率会随之迅速波动，这种波动经过汇流箱的聚集之后，会以集中功率冲击的形式接入配电网。当波动幅度较大时，会打破配电网原有的功率均衡状态，致使配电网的电压出现偏差。比如，在正午光照突然变化的时段，光伏的输出可能在短时间内大幅提升，造成接入点的电压急剧上升；而在乌云遮蔽或者日落时段，光伏的输出快速下降，又可能引发电压急剧下降。除此之外，光伏输出的断续性还会导致配电网的潮流频繁改变，增加线路的损耗，甚至可能引发线路过载现象。同时，输出波动还会对逆变器的运行稳定性产生影响，要是逆变器的调节速度落后于输出波动的速度，可能导致逆变器输出的电压与配电网的电压不匹配，产生谐波污染，进一步破坏系统安全稳定的运行状况<sup>[3]</sup>。

### 2. 汇流装置协同控制的不足

汇流箱作为整村汇流模式的核心聚集设备，其协同控制能力直接关系到系统的安全稳定。目前，部分整村汇流项目中，汇流箱采用独立控制的模式，缺少统一的协同管理控制逻辑，使得多路径光伏部件的输出汇入时出现“不均衡聚集”的问题。例如，不同区域的光伏部件由于安装角度、遮挡情况不同，输出存在差异，要是汇流箱没有针对这种差异进行动态调节，可能导致部分支路电流过大、部分支路输出闲置，甚至引发汇流箱内部元件过热损坏。同时，独立控制模式下的汇流箱难以与上级逆变器、电网调度系统实现数据互通，无法根据电网负荷变化实时调整输出策略，进一步降低了能源利用效率。另外，汇流箱的保护功能不完善也会对系统安全产生影响，像部分汇流箱缺乏有效地防范雷击、防范浪涌的保护机制，在恶劣天气下容易发生故障，进而导致整个汇流环节陷入瘫痪，影响光伏并网的连续性<sup>[4]</sup>。

### 3. 配电网接入适配性欠缺情形

乡村配电网初始以承载常规负荷为主体，其架构规划、设备容量等均未充分纳入大规模光伏并网的考量因素，致使整村汇流光伏接入之际产生“适配性欠缺”状况，继而对系统安全稳固性形成影响。一方面，当配电网线路阻抗数值较大、电压调节效能较弱时，在光伏大规模集中接入的情况下，易于出现电压越限问题。特别是在偏远乡村区域，配电网线路长度较长，光伏出力快速降低引发的潮流变动会在线路之上产生较大的电压降落，造成末端用户电压偏低；而当光伏出力急剧增加之时，又会造成接入点电压偏高，超出合格电压范围。另

一方面，在配电网的继电保护装置未针对光伏并网优化调整情况下，原有保护逻辑以“单向潮流”设计为基础，而整村汇流光伏并网之后可能出现潮流反向流动现象，导致保护装置发生误动或拒动，当光伏出力较大时，配电网故障电流可能呈现“双向流动”特性，原有过流保护装置难以精确判别故障位置与类型，易于出现保护延迟或误跳闸现象，致使故障影响范围得以扩大<sup>[5]</sup>。

## 三、提升整村汇流光伏并网模式安全稳固性的优化策略

### 1. 优化出力平抑与协同控制策略架构

针对光伏出力波动性问题，需从“平抑波动”与“协同控制”两个层面优化策略内容。一方面，引入主动出力平抑运行机制，通过配置储能装置对光伏出力峰值进行吸收、对出力低谷进行补充，缓解出力波动对配电网形成的冲击效应。可采用“分布式储能+集中汇流”的配置模式形态，在汇流箱后端接入小型储能单元模块，依据光伏出力预测数据信息与配电网运行状态情况，动态调节储能单元的充放电运行状态，实现光伏出力的平稳输出效果。另一方面，构建汇流装置协同控制体系架构，采用集中式管控逻辑思维，对村内所有汇流箱实施统一调度管理。通过实时采集各汇流箱的输入功率、电压、电流等参数指标，动态调节各支路的接入运行状态，实现多路出力的均衡汇集结果；同时，优化汇流箱与逆变器的协同控制逻辑关系，确保逆变器能够快速响应汇流之后的功率变化情况，及时调节输出电压与频率数值，保障与配电网的适配性能水平。除此之外，还可引入光伏出力预测技术手段，结合当地气象数据资料，提前预判出力变化趋势走向，为协同控制提供数据支撑基础，提升控制策略的前瞻性水平。

### 2. 推进配电网适配性改造工程

针对配电网接入适配性欠缺的问题情况，需从线路升级、设备优化、架构调整三个方面推进改造工作。其一为升级配电网线路设施，更换截面尺寸较小的导线线材，降低线路阻抗数值，提升线路的载流能力与电压调节能力水平，减少光伏出力变化带来的电压损耗现象；同时，在光伏接入点附近加装无功补偿装置设备，如并联电容器组、静止无功发生器等器件，实时调节无功功率数值，稳定配电网电压水平状态。二是优化配电网保护装置，针对光伏并网之后潮流呈现双向流动的特性，实施原有过流保护装置、零序保护装置等继电保护装置改造工程，采用自适应保护，精确识别故障种类与具体

位置，避免出现误动或者拒动问题。三是合理调整配电网网架结构，对于光伏发电出力较高的乡村地域配电网，可以采用“区域划分+联络线路”的模式，将光伏发电出力集中区域与用电负荷集中区域进行分区域管控操作，通过联络线路媒介实现区域之间的功率相互补充功能，提升配电网系统对光伏发电的消纳水平。

### 3. 完善故障防控与应急处置机制体制

为有效降低故障问题传播扩散与连锁反应风险概率，需要构建打造“预防阶段—监测阶段—处置阶段”全流程链条的故障防控工作体系。一是大力度强化故障预防工作，周期性地对汇流箱设备、逆变器设备、接入装置设备等核心关键设备进行运维检修作业，重点部位检查设备的绝缘性能指标、保护功能作用、散热状态情况等，及时发现并排除设备存在的隐患问题；与此同时，优化设备类型，采用具有抗波动和抗干扰能力的优质设备，提高系统的抗故障能力。二是完善实时监测系统体系，在光伏组件设备、汇流箱设备、逆变器设备、配电网接入点位等关键重要节点安装监测装置，实时动态采集电压数值、电流数值、功率数值、温度数值等运行状态参数，借助大数据分析技术手段对运行工作状态进行评估判断，及时预警异常情况和问题，为故障处置工作提供时间。三是流程优化应急处置机制，研究制定针对不同类型故障问题的应急处置工作预案，例如汇流箱设备故障、逆变器设备脱网故障、配电网电压数值超限故障等，明确处置工作流程、责任主体与时间节点要求；同时配备应急供电设备与抢修队伍，提高故障处置工作效率，缩短系统停运时间。除此之外，还可以建立光伏电站与配电网调度指挥中心的联动机制，实现信息资源共享，协同配合处置各种问题，提高故障防控工作的整体能力。

### 结论

整村范围汇流光伏并网模式是乡村地区能源清洁化

转型发展的关键方式，其安全稳定性能受到光伏出力特征、汇流装置协同控制能力、配电网系统接入适配性以及故障传播风险等多重复杂因素影响，存在光伏出力的不确定性与配电网系统运行的稳定性要求之间的矛盾问题。为增强该模式下系统安全稳定性能，需要从控制策略优化、配电网系统改造、故障防控体系完善三个维度层面发力，从引入储能装置平抑出力波动、构建协同控制体系结构提升汇流效率、开展配电网适配性改造工程入手，完善故障防控机制，减少运行风险，解决整村汇流光伏稳定运行问题、最终实现光伏电站与配电网系统的高效协同运行。展望未来，随着科学技术的不断进步，可进一步探索智能化管控技术手段在整村汇流光伏电站并网中的应用实践，比如数字孪生技术、人工智能调度技术等，不断提升系统的安全稳定运行水平，为乡村地区能源转型发展提供更加稳固的保障。

### 参考文献

- [1] 肖刚, 于茜, 张泽辉. 支持分布式光伏接入的制氢电源控制策略研究[J]. 电力电子技术, 1-9.
- [2] 王雷, 邹健, 徐亦淳, 霍勇, 董昕昕, 薛明华. 基于静态电压补偿及衰减评估的逆变器能效优化方法[J]. 能源研究与信息, 2025, 41(03): 159-167+176.
- [3] 杨小龙. 分布式光伏发电系统的设计与维护措施[J]. 灯与照明, 2025, 49(04): 197-199.
- [4] 李连会. 分布式光伏发电系统的施工安装技术与安全策略[J]. 电站系统工程, 2025, 41(05): 80-82.
- [5] 王峰. 光伏直流汇流箱电弧故障选相熄弧技术研究[J]. 装备维修技术, 2025, (04): 97-100.
- [6] 许金龙, 王莉娜, 郑博文, 等. 基于智能汇流箱的光伏电站监控系统的设计与研究[J]. 天津中德应用技术大学学报, 2025(3).
- [7] 杜明, 梁波, 韩本超. 浅析分布式光伏“集中汇流”上网模式[J]. 农村电工, 2023, 31(4): 29-30.