

[分布式电源]

分布式电源接入对电力系统安全稳定运行的影响分析

文/孙鹏亮

国网吉林省电力有限公司白城供电公司

以长春市南关区某10 kV配电系统接入3 MW分布式光伏发电项目为例，系统分析分布式电源接入对电力系统安全稳定运行的影响。结果表明，分布式电源接入会对电力系统的电压稳定性、潮流方向、继电保护装置动作和频率产生影响，进而造成电网运行的波动。对此，应通过强化电压调控，合理引导潮流分布，提升继电保护适应性，提高频率调控等策略，确保电力系统的安全稳定运行。

随着可再生能源开发和利用技术的快速发展，风能、太阳能等分布式电源接入电力系统的情况愈加普遍。这些电源的接入不仅可以有效缓解区域负荷压力，提高电能利用效率，促进清洁能源本地消纳，还可以通过“源-网-荷-储”协同机制，提升电力系统的灵活性和韧性，为构建新型电力系统提供技术支撑^[1]。而且，在城市配电网层级中，分布式电源因靠近负荷、容量灵活和建设周期短等优势，成为能源领域绿色低碳转型的焦点。然而，受风俗、光照强度和气象条件等外部因素的影响，分布式电源在电量输出方面表现出明显的随机性和间歇性特点，这会对电力系统安全稳定运行产生较大的影响^[2]。对此，本文以长春市南关区某10 kV配电系统接入3 MW分布式光伏发电为例进行实证研究，并探索提出应对不良影响的措施。

分布式电源接入简介

为缓解区域用电高峰压力，提升清洁能源利用水平，2023年5月，长春市南关区启动城市绿色能源结构优化项目，依托原有的10 kV配电系统，规划接入总容量3 MW的分布式光伏发电。

如图1所示，光伏电源采用分布式接入的方案。

共设置有6个独立的光伏发电单元，每组装机容量500 kW，通过电压起逆变器接入区域主干电压等级为10 kV的母线系统。主变压器T₁承担系统与上级电网的接口功能。整个电网通过独立的用户支路将电能输送至用户处，形成“源-网-荷”耦合结构。

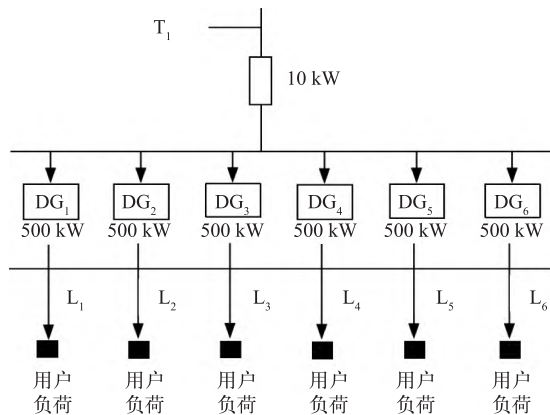


图1 分布式电源接入图

影响分析

1. 对电压稳定性的影响

受日照强度、天气状况影响，分布式光伏出力具有间歇性和波动性，易在出力与本地负荷不匹配

时引发接入点电压的明显波动^[3]。在天气晴朗、日照强烈时段，分布式光伏发电系统会出现出力大幅提升的情况。若这期间本地负荷需求较低，则可能出现大量富余功率反向注入电网，引发接入点电压明显升高，甚至超过该点规定电压上限的情况，形成过电压风险。在天气阴沉、日照不足时段，光伏出力会骤然下降，局部出现供电能力不足，进而引起电压短时跌落，影响电压整体的稳定性。表1是对2024年7月14—16日光伏并网点与典型用户支路电压监测的数据。通过表1可以看出，在天气晴朗、日照强烈的时段，光伏系统出力普遍接近或超过2.9 MW，并网点电压达到9.99~10.00 kV，明显高于其他时段，存在电压抬升甚至越限的风险，而在阴天、日照较弱的时段，光伏出力不足1MW，用户侧电压相对降低，增加了电压的不稳定性。

表1 电压监测数据

日期	时间段	天气状况	日照等级	光伏出力/MW	并网点电压/kV	用户侧电压/kV
2024/7/14	8:00	晴	一般	0.58	9.86	9.75
	12:00	晴	强烈	2.95	9.99	9.82
	17:00	晴转阴	一般	0.7	9.88	9.77
2024/7/15	9:00	多云	一般	1.2	9.9	9.79
	13:00	晴	强烈	2.91	10	9.83
	18:00	阴	较弱	0.62	9.85	9.73
2024/7/16	8:00	晴	一般	0.75	9.87	9.76
	12:00	晴	强烈	2.93	10	9.85
	19:00	阴	较弱	0.51	9.84	9.72

注：日照等级判断标准为：日照强烈：全辐照度 $\geq 800\text{W/m}^2$ ；日照一般： $300\text{W/m}^2 \leq \text{全辐照度} < 800\text{W/m}^2$ ；日照较弱： $100\text{W/m}^2 \leq \text{全辐照度} < 300\text{W/m}^2$ ；无明显日照：全辐照度 $< 100\text{W/m}^2$

2. 对潮流分布的影响

在传统配电网络结构中，电流向通常由主变压器出发，依次经过干线、支线流向各级负荷节点，整体上呈现出单一、放射状的潮流特性，如图2所示^[4]。但是，随着分布式光伏发电的接入，电网的潮流结构会发生变化，特别是在光伏出力较大、局部负荷较小的时段，会出现逆潮流的现象，即电流从用户方向倒流至干线，甚至推送至主变压器及上级电网，如图3所示^[5]。表2是2024年8月4日—8月6日配电系统逆潮流现象监测数据。通过表2可以看出，在光伏出力高、本地负荷低的时段，潮流方向会由传统的主变压器向用户转变为用户向主变

压器的倒送情况，即逆潮流现象。这表明，分布式电源的接入打破了配电网原有的单向、放射状潮流结构，使电能流动呈现出双向性和动态性。这增加了潮流调控和电网运行管理的复杂度。

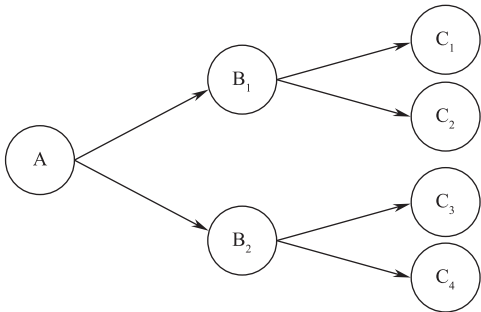


图2 传统潮流结构

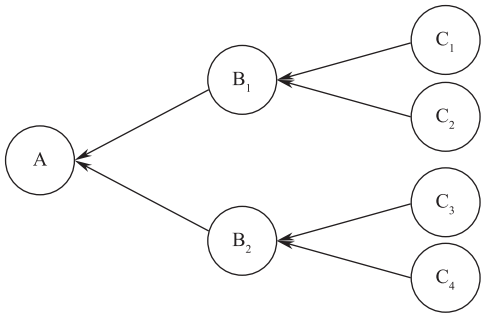


图3 逆潮流结构

表2 2024年8月4日—6日配电系统逆潮流现象监测数据

日期	时间段	光伏出力/MW	本地负荷/MW	潮流方向	是否发生逆潮流
2024/8/4	12:00	2.95	1.10	用户→干线	是
2024/8/5	13:00	2.91	1.25	用户→干线	是
2024/8/5	18:00	0.62	2.40	主变压器→用户	否
2024/8/6	12:00	2.93	1.20	用户→干线	是
2024/8/6	19:00	0.51	2.55	主变压器→用户	否

3. 对继电保护的影响

分布式电源接入引起的逆潮流现象，会使故障电流从多个方向流向故障点。这打破了从电源单向流向负荷的原有潮流假设。在此情况下，如方向过电流保护、方向接地保护等传统以电流方向为依据的方向型继电保护装置会出现识别混乱的情况，无法准确判断故障所在区域，容易导致误动作或拒动作，从而扩大电力系统故障的范围，影响系统运行的稳定性。同时，在电力系统发生短路故障时，光伏逆变器不会立即切除出力，而是会继续输出一定

的电流。这种低电压穿越和无功支撑的控制特性，可能会削弱传统继电保护装置的性能，使其判断和识别故障的能力下降。例如，监测数据和运维记录显示，2024年8月27日12:23，南关区某支路疑似发生A相接地故障。当时，正值光伏出力高峰，本地3 MW光伏系统逆变器处于满载运行状态，未出现立即切除。故障发生后，主变压器、上级馈线和多个用户侧光伏系统同时向故障点送电，导致故障电流呈现出多源汇聚的情况。对故障波形进行分析发现，继电保护装置因电流方向频繁反转而未正确判断出故障的位置，进而出现方向型过电流保护拒动，最终由上级保护动作切除故障，扩大了停电范围。这表明，分布式网络接入后，传统的继电保护方案可能无法适应多源潮流结构，容易出现故障响应能力不足的情况。

4. 对频率稳定性的影响

在未接入分布式电源时，电力系统中的频率控

制主要靠大型同步发电机的惯性响应和一次调频机制，频率的稳定性较高。而在接入分布式电源后，由于光伏电源主要通过逆变器并网，缺乏物理转动惯量，电力系统的整体等效惯量会显著下降，进而削弱频率调节能力，使频率的稳定性降低。实际运行中，如果系统出现负荷突变或出力快速波动时，频率会偏离额定值，进而引起频率扰动。而这种扰动在低惯量系统中不易被传统发电机组及时感知和响应，可能会导致频率跌落速度加快，降低频率的稳定性。例如，图4是对南关区接入和未接入分布式电源的电力系统频率的监测数据统计。通过该图可以看出，未接入分布式电源的电力系统频率基本围绕50 Hz上下波动，且波动幅度较小，变化较为平稳。而接入分布式电源的电力系统频率波动幅度较大，出现了较多的超出50 Hz的情况，表明系统频率更容易受到扰动影响。

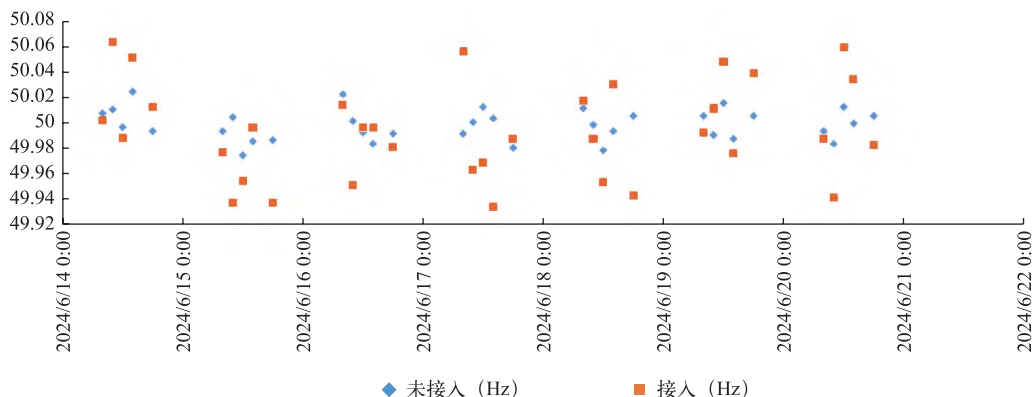


图4 未接入分布式电源和接入分布式电源的频率对比

应对策略

1. 强化电压调控

对于分布式电源接入后引起的电压波动问题，可通过三方面的措施加以应对。

1) 安装和调整有载调压变压器设置。可在配电变压器处安装有载调压变压器，或根据情况调整有载变压器的分接头设置，使其能够结合并网点电压的波动自动升降分接头档位，实时调节输出电压。针对光伏出力高峰期电压上升的情况，可适当调低分接头的档位，抑制电压过升风险，确保并网点电压在允许的范围内。

2) 引入动态无功补偿装置。可在光伏接入节点

或者电压波动频发的区域配置静止无功发生器等快速动态无功补偿装置。当系统中的电压升高时，装置可以吸收无功功率，降低电压；当系统中的电压偏低时，装置可以输出无功支撑电压，实现电压的稳定^[6]。

3) 利用光伏逆变器。光伏逆变器可根据并网点电压自动调节无功输出，实现电压稳定。在使用时，应借助光伏逆变器，配置合理的电压-无功响应曲线，使其在系统中电压升高时能够吸收无功，在电压降低时提供无功，辅助维持电压的平衡。

2. 合理引导潮流分布

分布式电源的接入，改变了原有配电网的潮流

结构，容易引发逆潮流现象。对此，应采取三方面的措施加以应对。首先，优节点布局。在确定接入点时，优先选择负荷密集、用电曲线与光伏出力相匹配的区域，以减少因本地吸纳能力不足而产生的反送电流。例如，可结合用电负荷大数据平台分析居民区、商业区和工业区的典型日负荷曲线，并将其与光伏出力曲线进行拟合比对，确保出力峰值在本地负荷高峰期实现就地消纳。对于已建光伏项目，可通过调整并网位置，或者设置分区限电阈值，引导潮流向负荷集中的方向流动。其次，设置功率上限。可在智能终端或者逆变器上设置功率上限，以限制最大输出功率，降低逆潮流的规模。最后，引入潮流协调控制系统。电网公司应借助潮流协调控制系统，实时监测关键节点的电压、电流与潮流方向，并根据历史数据在可能出现逆潮流的节点设置潮流阈值。一旦检测到超标的情况，应及时启动负荷提升、储能吸收、调度限发等控制策略，实现潮流的动态引导与局部闭环调节。

3. 提升继电保护适应性

针对分布式电源接入对继电保护的影响，应注意提升继电保护的适应性。

1) 引入广域信息辅助判断。可在电力系统中构建基于时间同步的广域测量系统，通过融合多个节点的电流矢量信息，提升故障区段识别的精准度。

2) 对继电保护装置进行升级。在接入分布式电源时，应对已有的继电保护装置进行升级，使其具备自适应整定功能。这样，装置就可以根据电力系统的运行方式、分布式电源的出力状态、潮流方向等，动态调整保护定植与动作判据，确保在不同运行模式下均能够识别出故障^[7]。

3) 实施线路电流差动保护。可在重要支路的两端安装高准确度电流重要支，可使用线路电流差动保护。这种措施是通过对比线路两端的电流幅值和相位差来识别故障，不依赖电流的方向信息。

4. 提高频率调控

针对分布式电源接入造成的电力系统频率波动问题，应注意持续提高频率的调控能力。

1) 应用虚拟同步发电机技术。虚拟同步发电机技术是一种基于控制算法，可以在逆变器中模拟同步发电机转动惯量和调速特性的技术。可在光伏逆

变器控制器中嵌入虚拟惯量模型，使其能够在系统频率发生波动时参与支撑频率，以缓解因惯量不足导致的频率快速跌落问题。

2) 建立快速响应的辅助调频机制。可在电网中建设储能系统，在频率偏离时，能够根据设定的控制逻辑快速进行充放电，以稳定频率。

结束语

通过对南关区一案例的研究发现，分布式光伏发电的接入，在补充电网电能，提高功能能力的同时，也增加了电力系统运行的不稳定性。这主要体现在分布式电源接入引发的电压波动、逆潮流现象以及对继电保护装置运行的干扰和频率波动。对此，要通过强化电压调控，合理引导潮流分布，提升继电保护适应性，提高频率调控等措施加以化解，以保证电力系统运行的稳定性和安全性。EA

(收稿日期：2025-07-25)

参考文献

- [1] 张力，张鹏飞，陶佳融．分布式电源接入技术在山区智慧配电网中的应用研究[J]．自动化应用，2025，66(9)：78-81．
- [2] 海瑛，陈静．考虑分布式电源接入的主动配电网储能配置优化方法[J]．电气技术与经济，2025(6)：376-379．
- [3] 魏正澜．应对分布式电源接入的配电网故障研判功能改造方案[J]．电气时代，2025(6)：85-88．
- [4] 张瑞昌．分布式电源接入对配电网的影响及优化策略研究[J]．光源与照明，2025(3)：238-241．
- [5] 邸维斌．分布式电源接入对电网配电系统的影响及优化措施[J]．电力设备管理，2024(23)：42-44．
- [6] 李玮，秦知航．分布式光伏电源接入的配电网单向功率潮流安全监测方法[J]．微型电脑应用，2025，41(5)：248-251．
- [7] 石伟．分布式电源接入对配电网负荷预测的影响及改进方法[J]．光源与照明，2025(1)：204-206．