

分布式光伏对配电网的影响及应对措施

翟阳阳

国网河南省电力公司宝丰县供电公司 河南省平顶山市 467000

摘要: 在本文研究中,是以河南省某分布式光伏作为主要研究对象,在该接入配电网后,配电网形式出现变化,从原本的无源模式向有源方向进行转变,改变配电网正常的故障电流。基于此,本文通过详细分析河南地区配电网保护配置自动化应用情况,明确分布式光伏大规模接入给配电自动化、配电网保护配置方面的影响,并提出针对性解决措施,有助于提高分布式光伏配电网的自动化水平,科学控制配电网运行成本。

关键词: 分布式光伏; 配电自动化; 分级保护配置; 有源配电网

1. 引言

随着国家进一步推进新型电力系统建设,分布式光伏迎来快速发展阶段,根据国家能源局统计数据,截至 2024 年 9 月底,全国分布式光伏接入容量已经达到 3.42 亿千瓦(kW),其中河南地区接入容量为 1215.6 万千瓦,分布式光伏用户数量高达 28.1 万个。但大规模分布式光伏接入给传统配电网运行带来一系列显著影响,尤其是在故障电流特性和自动化控制方面。由于分布式光伏具有逆向供电能力,在并网运行时会改变配电网原有的潮流分布,改变短路电流水平,进而影响传统保护装置的动作特性,如过流保护、方向保护等可能发生误动、拒动现象。同时,分布式光伏波动性和间歇性也对配电网自动化系统准确性提出严峻挑战,如馈线自动化(FA)策略受到电流方向、幅值变化等因素影响,出现配电网运行失效的问题。针对上述问题,本文以河南配电网为例,深入分析分布式光伏接入对现有配电网保护配置及配电自动化策略的影响机制,探讨其在故障检测、隔离、恢复过程中的隐藏风险,并提出针对性的应对措施。

2. 河南公司配电网自动化应用现状

目前,河南公司配电网自动化建设已经取得良好的进展,其所属 18 家地市公司全部完成配电自动化主站的部署,并采用“N+N 模式”架构,即 I 区主站和 III 区主站在地市级层面同时部署,这种架构设计除了提升系统运行的可靠性,实现数据分区管理。在功能实现上,河南公司馈线自动化的应用以集中型馈线自动化(Centralized Feeder Automation, CFA)为主,辅以就地型馈线自动化(Local Feeder Automation, LFA),从而形成多层次、多策略的故障

处理体系(见图 1)。集中型馈线自动化是以主站系统为核心,通过实时采集配电网运行状态信息,结合拓扑分析和故障定位技术,快速进行故障隔离,尽可能恢复非故障区域供电;而就地型馈线自动化则主要利用 FTU、DTU 等智能终端设备,在通信中断情况下提供分布式保护。同时,河南公司馈线自动化功能启动方式以电压失压信号为触发条件,当检测到线路电压异常时系统会迅速响应并启动相应的故障处理流程,全面提高短路故障、接地故障等事件的响应速度,但在大规模分布式光伏接入情况下由于光伏发电产生潮流方向、故障电流特性变化,现有自动化策略可能面临误判风险,所以如何优化馈线自动化算法,有效适应新能源接入后的复杂工况,成为当前亟待解决的技术难题。

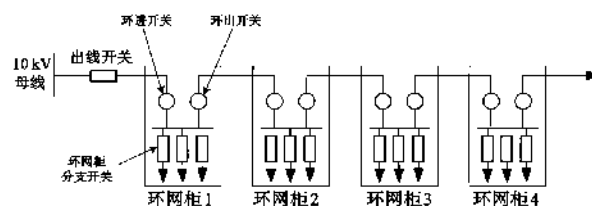


图 1 电缆线路分级保护示意图

3. 分布式光伏对配电网的影响

3.1 中压配电网单相接地故障

分布式光伏电源通常通过配电网 400 V 低压侧接入,而在 10 kV 中压线路发生单相接地故障时,由于中压配电网多采用小电流接地系统,中低压零序回路之间受到配电变压器隔离因素影响,出现不同零序回路相互独立,所以工作人员可以在理论上可以忽略分布式光伏对中压配电网接地故障零序电流的直接影响。在实际运行中,分布式光伏利用配电

变压器升压接入 10 kV 线路需要注重故障特性的间接影响。河南省配电变压器主要采用 DYn11 型和 Yyn0 型两种绕组接线方式，其中 DYn11 型变压器在低压侧三角形接线中能够自然消除三次谐波，可以抑制低压侧零序电流向中压侧传递的可能性；而 Yyn0 型变压器由于缺乏类似的零序阻断能力，在特定条件下对中压侧故障特性产生一定影响，所以尽管中低压零序回路的隔离设计降低直接干扰的可能性，但为了提高中压配电网运行的稳定性，需要工作人员结合具体变压器接线方式和分布式光伏并网特性进行深入分析，全面优化保护配置方案（见图 2）。

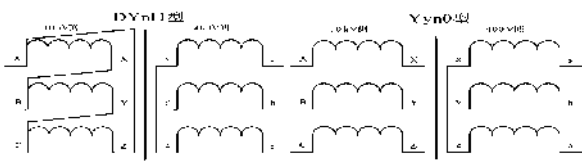


图 2 不同联结组别配变绕组结构

经过仿真测试分析，发现 10 kV 中压配电网发生单相接地故障时分布式光伏通过不同类型的配电变压器并网在接地故障零序电流影响中存在差异性。对于 Dyn11 型配变，由于其低压侧采用三角形接线（ Δ ），分布式光伏产生的零序电流在高压绕组的三角形接线内循环流通，并且不会传递到 10 kV 侧线路，所以不会影响到该侧单相接地故障的零序电流分布。而对于 Yyn0 型配变，尽管零序电流可以通过低压侧星形接地点（ Y_g ）流入大地，但由于 10 kV 侧为非有效接地系统，高低压侧零序回路长期处于隔离状态，理论上也不会影响到 10 kV 侧零序电流。试验结果表明，分布式光伏的并网容量、接入位置、出力波动性等因素会显著影响接地故障时的零序电压特性，随着光伏容量进一步增加，很容易加大零序电压幅值，且其波形特征可能发生畸变，从而增加配电网的保护装置灵敏度、故障检测准确性，这种现象主要源于光伏发电引起的潮流方向变化及逆变器控制策略对系统阻抗特性的扰动。

3.2 配电自动化的影响

在动作逻辑方面，如果并网设备性能满足行业标准，分布式光伏应在故障发生后 2 秒内迅速切除；而如果没有及时切除，分布式光伏可能在故障期间持续输出短路电流，很容易造成馈线自动化（Feeder Automation, FA）系统动作逻辑失效。例如，在集中型馈线自动化中，主站依赖故障电流的方向和幅值判断故障区段，而分布式光伏的逆向供电可能

改变故障电流特性，从而引发误判、拒动现象，降低故障隔离效果。在监测方面，分布式光伏并网后要将其并网开关状态接入配电自动化主站，从而实现全面监控^[1]。

3.3 重合闸的影响

当配电网发生短路故障时，分布式光伏可能向故障点持续注入短路电流，造成电弧无法及时熄灭，从而影响故障点的绝缘恢复，显著降低重合闸的成功率，甚至可能引发设备损坏问题。在故障发生后，如果分布式光伏没有能及时切除，从而进入孤岛运行状态，其输出功率和负荷需求之间的不平衡将造成频率和电压失步，进一步增加重合闸失败的风险。为了避免上述问题，目前普遍采用在重合闸动作前切除分布式光伏电源的策略，通过并网开关的快速控制或逆变器的防孤岛保护功能，在检测到故障后迅速断开分布式光伏与配电网的连接，能够有效熄灭故障点的电弧，提高系统运行的稳定性。但这种方法也带来一系列新的挑战，如何在短时间内准确判断故障类型是目前急需考虑的问题^[2]。

4. 分布式光伏对配电网的应用措施

4.1 控制分级保护数量，优化分布式光伏接入位置

本文在含分布式光伏的线路上采用两级保护配置方式，全面优化保护层结构，有效提高动作的可靠性。两级保护配置中，第一级保护设置在变电站出口处，主要负责检测和切除主干线路的严重故障；第二级保护则部署在分支线路或分布式光伏接入点附近，用于精准定位和隔离局部故障，科学降低保护装置之间的协调难度（见图 3）。

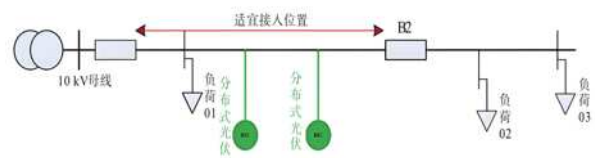


图 3 优化分布式光伏接入位置示意图

在优化分布式光伏接入位置方面，工作人员要将其布置在站内保护和第二级保护之间的线路上，尽可能减少给现有保护系统带来的影响^[3]。在实际操作过程中，分布式光伏接入位置要综合考虑线路阻抗、短路容量、故障电流分布等参数，如果分布式光伏接入位置过于靠近变电站出口，则其注入短路电流可能显著改变主干线路的故障电流水平，从而干扰站内保护的動作特性^[4]；而要是接入位置接近末端负荷，则可能加剧局部电压波动，进一步增加第二级保护的動作负担，所以将分布式光伏接入站内保护和第二级保护之间

的线路上可以实现故障电流的有效分流,有利于加强两级保护之间的协调性。同时,在实际工程中,需要工作人员结合PSCAD/EMTDC 仿真分析工具科学评估不同接入方案,充分考虑光伏容量、并网逆变器控制策略、线路拓扑结构等因素,最终确定最优接入点^[5]。

4.2 忽略小容量分布式光伏

当同母线配电网中接入的所有分布式光伏电源总容量较小时,其保护装置影响可以忽略不计,如果同母线其他线路分布式电源总容量对应的额定电流的 1.5 倍小于本线路第二级保护 II 段电流定值,则认为这些分布式光伏对保护动作特性的影响可忽略。主要原因是在该情况下,分布式光伏注入短路电流不足,有利于改变故障电流水平,防止出现保护误动风险。但如果分布式光伏总容量造成短路电流涨幅过大,甚至超过上述阈值,则工作人员必须重新调整保护定值整定,全面保护装置动作的可靠性。为了实现忽略小容量分布式光伏目标,通常要结合配电网的实际拓扑结构,利用PSCAD 仿真工具建模故障电流分布。^[6]

4.3 不含分布式光伏线路分级保护定值整定

在该线路发生故障时,相邻线路接入的分布式光伏向故障点注入短路电流,改变故障电流的幅值和方向,为了加强保护装置的灵敏性,在过流 I 段定值整定中要综合考虑本线路的保护范围、相邻线路分布式光伏总容量对应的电流贡献。根据本人工程实践经验,过流 I 段定值应设置为大于分级保护定值“I 段 Z”、其他线路分布式光伏总容量对应额定电流的 1.5 倍,才能控制分布式光伏注入短路电流产生的保护误动现象^[7]。在实际整定过程中,工作人员需要结合配电网的具体拓扑结构、分布式光伏的并网位置、限流模式或恒功率模式进行动态调整,必要时利用仿真工具评估不同工况下的故障电流分布,不仅可以提升分级保护对复杂运行环境的适应能力,还能为含分布式光伏的配电网提供更高的安全性保障^[8]。

5. 结语

结合上述分析内容,发现在本文中对于分布式光伏大规模接入现状进行研究,分析该环节接入给配电自动化效

果、配电网继电保护措施造成的影响,并提出针对性解决措施。经过实践证明,分布式光伏电源保护性能能够满足行业标准,对于分布式光伏的影响可以忽略不计。但值得注意的是,如果超过 5MW 容量时,工作人员需要适量增加投资配置新设备,解决配电网自动化运行中存在的问题。

参考文献:

- [1] 赵洪山,胡焱,魏伟,等.考虑相关性的配电网分布式光伏承载能力提升方法[J].电力系统保护与控制,2025,53(1):37-46.
- [2] 赵健,曹子恺,高源,等.基于不变风险最小化的高比例分布式光伏配电网拓扑异常检测[J].电力自动化设备,2025,45(1):84-91.
- [3] 王守相,尹孜阳,赵倩宇.考虑多供电层级耦合的中低压配电网分布式光伏承载力一体化精细评估方法[J].电工技术学报,2025,40(6):1930-1944.
- [4] 罗涛,赵高帅,闫大威,等.考虑配电网主动重构的分布式光伏消纳能力概率化评估方法[J].电力系统及其自动化学报,2025,37(1):64-73.
- [5] 门茂琛,赵睿,张金帅,等.基于改进模拟退火-粒子群的配电网分布式光伏承载力评估[J].浙江大学学报(工学版),2024,58(6):1255-1265.
- [6] 白泽,刘灏,毕天姝.基于图注意力网络的配电网分布式光伏实时消纳能力评估方法[J].电力自动化设备,2024,44(12):92-99.
- [7] 欧奕昊,姜彤,张一航,等.考虑变流器无功调节的含高比例分布式光伏配电网多时间尺度电压控制方法[J].电力自动化设备,2024,44(12):221-230.
- [8] 姚顺,赵哲源,秦海波.分布式光伏密集接入配电网承载力提升技术分析[J].电力设备管理,2025(1):19-21.

作者简介: 翟阳阳(1996.09.01)性别:男,民族:汉,籍贯:河南省襄城县,学历:本科

单位名称: 国网河南省电力公司宝丰县供电公司,职称:助理工程师,研究方向:电力工程技术