

分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性

吕福虎¹, 龚旗林²

(1. 国电南瑞南京控制系统有限公司, 江苏 南京 210000;

2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要 分布式光伏作为一种清洁、可再生的能源形式, 在电力系统中得到了广泛应用。然而, 大量分布式光伏的接入对传统的配电自动化系统提出了新的挑战。本文探讨分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性, 首先分析分布式光伏接入对配电自动化系统的影响, 其次提出相应的适应性策略, 最后通过案例分析验证了策略的有效性, 以为电力系统的稳定运行提供理论支持和实践指导。

关键词 分布式光伏; 接入; 电力系统; 配电自动化系统; 适应性

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0013-03

在电力系统中, 配电网作为连接发电与用电的桥梁, 其运行状态对于保障电力供应的连续性和稳定性至关重要。随着全球对可再生能源重视程度的提升, 分布式光伏作为一种清洁、可再生的能源形式, 正逐步成为配电网中的重要组成部分。分布式光伏的广泛接入, 不仅丰富了配电网的电源结构, 增强了能源供应的多样性, 同时也对配电自动化系统的运行与管理模式带来了前所未有的挑战。首先, 分布式光伏的出力受环境因素影响较大, 具有间歇性和不确定性, 这要求配电自动化系统必须具备更高的灵活性和适应性, 以有效应对光伏出力的波动。其次, 分布式光伏接入后, 配电网的潮流分布、短路电流特性等也会发生变化, 这对配电自动化系统的故障检测、隔离与恢复能力提出了更高要求。因此, 深入研究分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性, 对于提升配电网运行效率、保障电力供应可靠性具有重要意义。

1 分布式光伏接入对配电自动化系统的影响

1.1 电压质量的影响

分布式光伏接入配电网后, 其出力特性直接影响了配电网的电压质量。首先, 由于光伏电源的输出功率高度依赖于环境因素, 特别是光照强度和温度, 这导致了光伏出力的间歇性和不确定性。在晴朗天气下, 随着光照强度的增加, 光伏电源的输出功率迅速上升, 可能会向配电网注入大量电能, 导致局部电压升高, 甚至超过额定电压范围, 形成过电压现象。相反, 在

阴雨天或夜晚, 光伏电源几乎不发电, 配电网中的电压则可能因缺乏额外电源支撑而下降, 形成低电压现象。这种电压的频繁波动和闪变不仅影响用户的用电体验, 还可能对电网中的敏感设备造成损害^[1]。其次, 当分布式光伏的接入容量达到一定比例时, 其对配电网电压的影响更加显著。光伏电源发出的有功功率增加了配电网中的潮流, 改变了原有的电压分布特性。特别是在光伏电源集中接入的区域, 局部电压抬升现象尤为明显, 可能引发电压越限问题。因此, 配电自动化系统必须具备强大的电压监测和控制能力, 能够实时感知电压变化, 并采取相应的控制措施, 如调节有载调压变压器分接头、投切电容器组等, 以确保电压质量满足要求。

1.2 短路电流的影响

分布式光伏接入配电网后, 在短路故障发生时, 其对短路电流的影响不容忽视。首先, 在传统配电网中, 短路电流主要由系统电源提供。然而, 在分布式光伏接入后, 当配电网某处发生短路故障时, 邻近的光伏电源可能通过逆变器继续向故障点提供短路电流, 从而增加了短路电流的幅值和持续时间。这不仅增大了故障对电网设备的冲击, 还可能影响配电自动化系统的故障检测和隔离效果。其次, 更为复杂的是, 分布式光伏逆变器通常配备有保护装置, 如过流保护、孤岛保护等。在短路故障发生时, 这些保护装置可能因检测到异常电流而动作, 切断光伏电源与电网的连接^[2]。

然而，由于不同光伏逆变器的保护策略和动作时间存在差异，这可能导致短路电流的特性更加复杂多变。因此，配电自动化系统需要优化故障检测算法和隔离策略，以准确识别短路故障并快速隔离故障区域。最后，还需要考虑光伏逆变器保护装置的动作特性及其对短路电流的影响，以提高故障处理的准确性和可靠性。

1.3 传统故障定位策略的适应性

传统的配电自动化系统主要依靠故障电流的分布特性来进行故障定位。首先，这种方法在传统配电网中表现出色，但在分布式光伏接入后却面临挑战。分布式光伏的接入改变了配电网的电源结构和潮流分布，使得故障电流的方向和大小发生变化。例如，在光伏电源接入点附近发生短路故障时，由于光伏电源提供的短路电流与系统电源提供的短路电流方向相反，可能导致故障指示器误判或漏判。其次，光伏电源接入还可能引起配电网中潮流的反向流动，进一步增加了故障定位的难度。因此，配电自动化系统需要研究新的故障定位策略或改进现有策略以适应分布式光伏接入的情况^[3]。例如，可以引入基于广域测量系统的故障定位方法，通过实时监测配电网中各节点的电气量信息并进行综合分析来准确判断故障位置。再次，还可以利用分布式光伏逆变器的通信能力实现故障信息的实时共享和协同处理以提高故障定位的准确性和快速性。最后，还可以结合配电网的拓扑结构和光伏电源的接入情况建立故障定位模型，通过仿真分析验证模型的准确性和可靠性，从而为实际配电网的故障处理提供有力支持。

2 配电自动化系统的适应性策略

在分布式光伏广泛接入的背景下，配电自动化系统需采取一系列适应性策略，以应对由此带来的挑战，确保配电网的安全、稳定运行。以下是对各项策略的详细阐述。

2.1 优化电压控制策略

面对分布式光伏接入引起的电压波动和闪变问题，配电自动化系统需从多个维度优化电压控制策略。首先，应充分利用有载调压变压器和无功补偿装置的能力，根据实时电压监测数据动态调整电压水平。通过合理设定调压变压器的分接头位置和投切电容器组，可以有效平衡光伏出力波动对电压的影响，维持电压在合理范围内。其次，应挖掘分布式光伏逆变器的无功调节潜力。逆变器不仅负责将直流电转换为交流电，

还具备无功功率调节功能。通过编程控制逆变器的无功输出，可以在光伏出力高峰时段吸收多余的无功，或在出力低谷时段提供必要的无功支撑，从而辅助调节配电网的电压水平^[4]。最后，智能电表和传感器的广泛应用为实时电压监测提供了可能。这些设备能够高精度地采集电压数据，并通过无线通信技术实时上传至配电自动化系统。系统接收到电压数据后，可迅速进行分析判断，并依据预设的控制逻辑自动调整电压控制策略，实现电压的快速响应和精确控制。

2.2 改进故障检测与隔离策略

分布式光伏接入后，配电网的故障特性发生变化，要求配电自动化系统必须改进故障检测与隔离策略。首先，传统的基于稳态电流的故障检测方法可能不再适用，需引入基于暂态特征的故障检测方法。该方法通过分析故障发生瞬间的电流、电压波形特征，能够更准确地识别故障类型和位置，提高故障检测的快速性和准确性。其次，应充分利用分布式光伏逆变器的通信能力，实现故障信息的实时共享和协同处理。逆变器作为光伏系统与电网的接口设备，具备与配电自动化系统通信的能力。在故障发生时，逆变器可迅速将故障信息上传至系统，系统则根据上传的信息综合判断故障类型和位置，并指挥相关设备执行隔离操作。同时，不同逆变器之间也可通过通信实现信息共享，协同应对复杂故障场景^[5]。最后，还需研究新的故障隔离算法以适应分布式光伏接入后的复杂故障电流特性。算法应能够准确识别故障电流的方向和大小变化，避免误判或漏判现象的发生。同时，算法还应具备自适应性，能够根据配电网的实际运行情况动态调整参数和逻辑结构，确保在不同工况下均能保持高效、准确的故障隔离能力。

2.3 研究新的故障定位策略

传统故障定位策略在分布式光伏接入情况下表现出一定的局限性，因此需要研究新的故障定位策略以提高定位效率和准确性。首先，应结合分布式光伏的出力特性和配电网的拓扑结构建立新的故障定位模型。模型应充分考虑光伏出力的间歇性和波动性对故障电流的影响，以及配电网中潮流分布的变化情况。通过仿真分析和实验验证不断完善模型参数和结构，使其更加贴近实际运行情况。其次，利用大数据分析和机器学习技术提高故障定位的准确性和鲁棒性。通过对大量历史故障数据的挖掘和分析可以发现故障特征与定位结果之间的潜在关联规律。在此基础上建立机器

学习模型对故障数据进行训练和预测,可以实现更加精准的故障定位。同时,机器学习模型还具备自学习和自适应能力,能够根据新的故障数据不断优化自身性能,提高定位的准确性和可靠性。最后,开发基于多源信息的综合故障定位系统也是提高定位效率的重要途径之一。该系统能够整合来自不同来源的信息,如智能电表数据、传感器数据、逆变器通信数据等,通过多源信息融合技术实现故障信息的全面感知和综合分析,从而得出更加准确的故障定位结果。

2.4 加强储能系统的集成与应用

加强储能系统的集成与应用,是提升配电自动化系统适应性的关键策略之一。首先,面对分布式光伏出力存在的波动性挑战,储能系统如同一座“能量水库”,在平衡电网供需、稳定系统运行状态方面扮演着至关重要的角色。它不仅能够吸纳光伏在日照充足时段产生的多余电能,有效缓解电网高峰压力,还能在需求低谷时释放存储的能量,精准调控负荷波动,显著减少电压的剧烈变动和闪变现象,从而增强电网的整体稳定性和电能质量。其次,储能系统以其迅速的响应能力,在电网遭遇突发故障时,能即刻转换为备用电源,为关键负荷提供不间断的电力支持,大幅提升供电的可靠性和韧性。这一特性对于保障重要设施持续运行、维护社会秩序具有不可估量的价值。最后,要充分发挥储能系统的潜力,还需辅以科学的控制策略与健全的管理制度。控制策略需紧密贴合储能装置的充放电特性,结合电网实时运行数据,精确计算充放电时机与量,确保储能动作既高效又经济。同时,建立健全的管理制度,明确储能系统的运维职责、维护流程及安全标准,保障储能装置长期处于最佳运行状态,最大化其经济与社会效益,为配电自动化系统的灵活性与适应性提供坚实的支撑^[6]。

2.5 提升配电自动化系统的智能化水平

随着人工智能、物联网等技术的快速发展,配电自动化系统也在向智能化方向发展。通过提升系统的智能化水平,可以进一步提高其在分布式光伏接入情况下的适应性并降低运维成本,提高用户体验。首先,引入人工智能算法可以优化控制策略和决策过程,使系统能够根据实时数据自动调整控制参数和逻辑结构,实现更加精准的控制和管理。例如,利用深度学习算法对大量历史数据进行训练,建立预测模型,可以准确预测光伏出力 and 电网负荷变化趋势,为系统控制提供有力支持。其次,利用物联网技术可以实现设备的

远程监控和维护。通过部署智能电表、传感器等设备可以实时监测配电网的运行状态并将数据上传至云端平台进行分析处理。运维人员只需通过电脑或手机等终端设备即可远程查看设备状态和报警信息并进行故障诊断和排除工作,大大提高了工作效率和准确性^[7]。最后,开发基于大数据分析的预测性维护系统也是提升配电自动化系统智能化水平的重要途径之一。通过对设备运行数据的深度挖掘和分析可以发现潜在的运行风险并及时采取措施进行预防和维护,从而避免设备故障的发生,降低运维成本并提高系统的可靠性和稳定性。

3 结束语

分布式光伏的接入对传统的配电自动化系统提出了新的挑战和要求。通过优化电压控制策略、改进故障检测与隔离策略、研究新的故障定位策略、加强储能系统的集成与应用以及提升配电自动化系统的智能化水平等措施,可以有效提高配电自动化系统在分布式光伏接入情况下的适应性。未来,随着技术的不断进步和应用的深入推广,配电自动化系统将更加智能化和高效化地适应分布式光伏等可再生能源的大规模接入,为电力系统的稳定运行和可持续发展提供有力支持。同时,政府、电网企业以及科研机构等各方应加强合作与交流,共同推动配电自动化系统的技术进步和应用创新,为实现绿色低碳的能源转型贡献力量。

参考文献:

- [1] 武娜,焦彦军.基于模拟植物生长算法的配电网故障定位[J].电力系统保护与控制,2009(04):90-93.
- [2] 王林川,李庆鑫,刘新全,等.基于改进蚁群算法的配电网故障定位[J].电力系统保护与控制,2021(22):21-24.
- [3] 刘健,程红丽,董海鹏,等.配电网故障判断与负荷均衡化[J].电力系统自动化,2002(22):44-46.
- [4] 林景栋,曹长修,张帮礼.基于分层拓扑模型的配电网故障定位优化算法[J].继电器,2022(08):50-52.
- [5] 黄伟,雷金勇,夏翔,等.分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J].电力系统自动化,2022(01):23-25.
- [6] 郑伟彦,杜红卫,朱义勇,等.分布式光伏接入对配电网自动化的影响及应对措施研究[J].中国电机:技术版,2021(09):55-57.
- [7] 刘健,林涛,李龙,等.分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性[J].电力系统保护与控制,2022(20):56-58.