

光伏接入配网配电线路的故障和运检管理研究

许舒冰

国网泉州供电公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7295

[摘要] 本文探讨了光伏发电系统接入配电网后常见的故障类型及其原因，重点分析了电压波动与闪变、线路过载、短路以及孤岛效应等故障的成因，并提出了相应的管理方法。针对光伏发电的波动性、配网结构复杂性、设备质量和运行环境等问题，本文提出了基于故障检测与定位技术、设备健康管理、人员培训与技术更新，以及信息化与智能化融合的综合管理对策。通过这些措施，可以有效提升光伏系统接入配电网后的运行稳定性和安全性。

[关键词] 光伏发电；配电网故障；设备健康管理；智能化融合

Research on fault and transportation inspection management of photovoltaic distribution network

Xu Shubing

State Grid Quanzhou Power Supply Company

[Abstract] This paper discusses the common fault types and causes after the photovoltaic power generation system is connected to the distribution network, focuses on the causes of voltage fluctuation and flicker, circuit overload, short circuit and island effect, and puts forward the corresponding management methods. In view of the volatility of photovoltaic power generation, the complexity of distribution network structure, equipment quality and operating environment, this paper puts forward the comprehensive management countermeasures based on fault detection and positioning technology, equipment health management, personnel training and technology update, as well as the integration of information and intelligence. Through these measures, the operation stability and security of the photovoltaic system after the access to the distribution network can be effectively improved.

[Key words] photovoltaic power generation; distribution network failure; equipment health management; intelligent integration

随着新能源产业的迅速发展，光伏发电作为一种清洁、可再生的能源，已经广泛应用于全球电力系统。然而，光伏发电系统的接入对传统配电网带来了新的挑战。由于光伏发电的波动性和分布式特性，容易引发一系列配电网故障问题，如电压波动、线路过载、短路和孤岛效应等。这些故障不仅影响电网的运行稳定性，还可能对电力设备和用户带来潜在风险。因此，研究光伏接入配网后的故障类型及其成因，并探讨有效的管理方法，具有重要的实际意义。

1 光伏接入配网配电线路的故障类型

1.1 电压波动与闪变故障

光伏发电系统接入配电网后，容易引发电压波动和闪变故障，主要原因在于光伏发电的波动性和间歇性。光伏发电量受光照强度影响较大，当光照条件迅速变化时，光伏发电功率会随之快速波动。这种波动直接影响到电网的电压稳定性，尤其

是在低负荷或弱电网结构中，容易引发电压波动甚至闪变现象。这种故障不仅会影响用户的用电质量，还会导致设备寿命的缩短或出现故障，严重时甚至可能导致设备损坏或停电。电压波动和闪变不仅会对用电设备造成损害，还会引发用户的投诉，影响供电公司的信誉。解决此类故障的有效措施包括在光伏并网点安装电压调节装置，如自动电压调节器（AVR）或静止无功补偿装置（SVC），以增强配电网对光伏发电波动的适应能力。此外，还可以通过对光伏系统的合理规划和设计，避免在电网薄弱点接入大规模光伏发电系统，以减小电压波动的影响。

1.2 线路过载故障

光伏发电接入配电网后，若光伏电站的输出功率远超当地配电线路的设计容量，就可能导致线路过载故障。线路过载会引起电缆发热、电压降低，严重时会导致线路损坏甚至引发

火灾。此外，配电线路中的过载会对继电保护系统造成影响，可能引发误动或拒动等保护故障，进一步加剧故障影响。配电线路的容量设计通常基于传统负荷计算，在未充分考虑新能源发电接入的情况下，容易出现超载风险。因此，在光伏发电并网时，需对接入线路进行详细的负荷分析，评估其承载能力，并进行适当的增容改造。此外，通过优化配电网结构，提高系统的冗余度和灵活性，也可以有效降低线路过载的发生概率。为了更好地应对光伏发电导致的过载问题，建议引入先进的负荷管理系统，通过实时监控与动态调整，确保配电线路的安全运行。

1.3 短路故障

光伏发电系统接入配电网后，短路故障的风险也随之增加。光伏发电系统本身具有较低的短路容量，一旦发生短路故障，可能无法提供足够的短路电流，从而影响故障检测和保护设备的正常动作。此外，光伏系统与电网的接入方式不同于传统电源，光伏发电装置大多通过逆变器并网，其短路特性和电流特性与传统电力系统有显著差异，这可能导致继电保护装置对短路故障的识别精度下降，甚至出现误动作。短路故障不仅会影响光伏发电系统的运行稳定性，还可能对整个配电网产生连锁反应，造成大范围的停电事故。因此，光伏发电系统接入配电网后，需要对短路故障进行全面评估和分析，制定相应的防护措施，如安装快速切断装置、升级继电保护设备，并加强日常巡检与维护，以确保系统的安全运行。

1.4 孤岛效应故障

孤岛效应是指在电网断电的情况下，光伏发电系统继续向局部区域供电，形成与电网隔离的“孤岛”状态。这种现象通常发生在光伏发电系统未检测到电网故障并继续运行的情况下。孤岛效应故障可能对电网的安全稳定运行带来严重威胁。首先，孤岛运行时，电压和频率容易失控，可能导致设备损坏和用电安全问题。其次，当电力公司恢复供电时，孤岛效应会导致非同步并网，产生大电流冲击，可能损坏设备并危及电力系统的稳定性。为防止孤岛效应的发生，光伏发电系统通常需要配置防孤岛保护装置，这些装置通过检测电压、频率等参数，当检测到孤岛运行状态时，能够迅速断开光伏系统与配电网的连接。此外，还可以采用主动扰动法、被动检测法等技术手段，增强光伏系统对孤岛效应的检测能力，确保系统在电网断电的情况下能够及时安全地脱网运行。

2 光伏接入配网配电线路的故障原因

2.1 光伏电源特性

光伏电源的特性是引发故障的主要原因之一。光伏发电系统依赖太阳能，这种能源具有波动性和间歇性，因此光伏电源输出功率受光照强度、天气状况和时间的影响极大。这种不稳定的电源特性容易导致电压波动，进而引发配网的电能质量问题。此外，光伏电源的输出特性与传统发电方式有所不同。光伏发电通常通过逆变器并网，逆变器的响应速度和控制策略会

直接影响并网的稳定性。一旦光伏系统与配网的协调性不佳，可能会导致短路、过载或孤岛效应等故障。光伏电源的非线性特性和发电波动性还会增加电网的负担，需要额外的无功补偿装置和调节设备来维持系统的稳定。因此，光伏电源的特性对配电网的影响不仅体现在电能质量上，还可能引发一系列复杂的故障，特别是在电网负荷较大或调节能力不足时，问题更加突出。

2.2 配网结构

配网结构的复杂性也是光伏接入后出现故障的重要原因之一。传统配电网的设计通常基于集中式电源，而光伏发电作为一种分布式能源，其接入位置通常较为分散，容易打破配网原有的功率流向和电压分布规律。在这种情况下，配网结构中的薄弱环节，如电压调节能力不足、线路布局不合理等，都会成为潜在的故障点。此外，由于光伏发电多在中低压配网接入，这些配网通常设计容量有限，难以承受大规模光伏电源的接入，容易导致线路过载甚至故障。配网的复杂性还体现在与其他能源系统的互动中，如风电、储能等多种分布式能源的接入，使得配网的控制和管理更加复杂，进一步增加了故障的发生概率。因此，在光伏接入时，需要对配网结构进行全面的评估和优化，以确保其能够承受光伏电源的接入负荷，并具备足够的故障容忍度。

2.3 设备质量

光伏发电系统接入配电网后，设备质量是影响故障发生率的关键因素之一。光伏发电设备，包括光伏组件、逆变器、保护设备等，其质量直接关系到系统的稳定性和可靠性。若设备质量不达标，如光伏组件的效率下降、逆变器的转换效率低或保护设备的灵敏度不足，都会导致系统运行中的各种故障。此外，配电网中的设备质量同样至关重要。如果配网设备的设计和制造质量不高，容易在负荷增加时出现老化、损坏等问题，进而引发线路故障。设备质量问题还体现在设备的维护和管理上，即使设备在最初运行时性能良好，但由于缺乏定期的维护和检修，设备的性能可能会逐渐下降，从而增加故障风险。因此，在光伏系统并网的过程中，确保设备质量的合格性，并加强日常的维护和检修工作，能够有效减少故障的发生。

2.4 运行环境

光伏发电系统及其配电线路的运行环境对故障发生的影响不容忽视。光伏系统通常安装在户外，长期暴露在自然环境中，容易受到温度、湿度、风沙、盐雾等外部环境因素的影响。这些恶劣的环境条件可能导致光伏组件老化、逆变器故障率上升，以及电缆和其他配电设备的绝缘性能下降，进而引发电气故障。此外，运行环境中的气象条件，如雷暴、暴雨、大风等极端天气，也会对配电线路造成直接威胁，增加故障发生的几率。环境因素还包括人为因素，如施工不当、维护不到位等，也会对设备的安全性产生负面影响。因此，在光伏系统的运行过程中，必须充分考虑运行环境的影响，采取针对性的防护措施

施,如加强设备防护等级、定期巡检与维护,确保系统能够在各种复杂环境下安全稳定地运行。

3 光伏接入配网配电线路的故障和运检管理方法

3.1 故障检测与定位技术

光伏发电系统接入配电网后,故障检测与定位技术成为确保配网安全稳定运行的关键。由于光伏电源的分布式特性,故障点可能较为分散,传统的故障检测方法难以快速、准确地定位故障位置。为此,现代配网管理中引入了多种先进的故障检测与定位技术。例如,基于同步相量测量技术(PMU)和分布式传感器的实时监测系统,可以对电压、电流等电力参数进行精确监控,迅速发现异常波动并定位故障点。此外,利用电力线载波通信技术(PLC),能够实现故障信息的快速传输和分析,从而大幅缩短故障响应时间。还有一种常见的故障检测方法是基于故障电流特征的分析,通过分析电流波形中的异常特征,结合大数据与人工智能算法,能够实现对复杂故障的自动识别与定位。这些新技术的应用有效提升了光伏并网系统的故障检测能力,减少了人工排查的时间和成本。然而,这些技术的广泛应用也需要完善的配套设备和技术支持,必须与配网的整体升级和智能化改造同步进行,才能充分发挥其效能。

3.2 设备健康管理

设备健康管理在光伏接入配网后显得尤为重要。光伏系统中的设备长期暴露在复杂的自然环境中,设备老化、磨损和性能下降等问题不可避免。因此,设备健康管理体的建立和完善,能够有效减少故障发生率,延长设备使用寿命。设备健康管理不仅是对设备进行定期维护,还包括对设备运行状态的实时监测与评估。通过安装智能监测传感器,配合先进的数据分析算法,可以对光伏组件、逆变器、电缆等设备的运行状况进行全天候监控,及时发现潜在故障。此外,健康管理还涉及到对设备生命周期的管理,包括设备的安装、运行、维护、升级和报废等环节,确保每个环节都得到有效管控。对关键设备如逆变器和保护装置的健康管理尤为重要,因为这些设备一旦发生故障,可能会导致整个光伏系统的瘫痪。为确保设备健康管理的有效性,需要建立全面的设备档案,记录设备的所有运行数据和维护记录,并依托智能化系统进行动态分析和预警,从而实现设备的主动维护与管理。

3.3 人员培训与技术更新

光伏发电系统的接入不仅要求设备和技术的升级,还对运行维护人员提出了更高的要求。人员培训与技术更新是确保光伏接入配网后系统运行可靠性的关键。首先,运维人员需要掌握光伏发电系统的基本原理、设备操作和维护技巧,尤其是要熟悉光伏系统与配网的耦合特性和相关的故障处理方法。这就需要建立完善的培训体系,通过定期的技术培训和实操演练,提升运维人员的技术水平。其次,随着光伏发电技术的不断发展,新的设备和管理技术层出不穷,运维人员必须不断学习和

更新知识,才能跟上技术的步伐。例如,随着智能化技术的应用,运维人员需要掌握大数据分析、人工智能算法等新兴技术,以便在设备监控和故障处理过程中能够更高效地完成工作。因此,技术更新不仅仅是针对设备和系统的升级,人员的技能提升也是保障系统稳定运行的重要组成部分。公司可以通过内部培训、外部学习和技术交流等方式,不断提升团队的技术水平,以应对光伏接入配网带来的挑战。

3.4 信息化与智能化融合

随着光伏发电系统的大规模接入,配电网的信息化与智能化水平需要同步提升,以应对复杂的运行环境和故障管理需求。信息化管理系统的引入,可以实现配网运行数据的集中监控和分析,为故障检测、设备健康管理和运维决策提供数据支持。例如,SCADA(数据采集与监视控制系统)系统已经广泛应用于配网管理中,通过实时采集电网运行数据,并结合地理信息系统(GIS),可以实现配网设备的全面监控和故障定位。而智能化技术的应用则进一步提升了配网的自动化水平,如智能巡检机器人、无人机巡检系统、智能电力设备等,能够自动完成设备检测和数据采集工作,减少了人工干预的需求。信息化与智能化的融合不仅提升了光伏系统接入后的管理效率,还能够实现故障预警、智能调度、能效优化等多项功能。这种融合需要依赖强大的数据处理能力和先进的算法技术,同时也需要建立稳定可靠的通信网络,确保数据传输的及时性与准确性。未来,随着5G、物联网和人工智能技术的进一步发展,光伏接入配网的管理将会更加智能化和自动化,推动能源互联网的发展。

4 结语

光伏发电系统的接入为配电网带来了新的机遇和挑战。通过针对故障检测与定位、设备健康管理、人员培训与技术更新、信息化与智能化融合等多方面的优化管理措施,可以有效提升光伏系统并网后的运行稳定性和安全性。随着技术的发展,智能化和信息化将成为未来配电网管理的关键方向,为能源互联网的发展奠定坚实的基础。

[参考文献]

- [1]杨耀,李润润.光伏接入配网配电线路的故障和运检管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(16):51-53.
- [2]刘雯琳.考虑光伏电源接入的中压配电网保护方案研究[D].北京交通大学,2023.
- [3]丁澍.含分布式电源的配网相间故障定位技术研究[D].山东大学,2023.
- [4]肖澍显.有源配电网新型电流纵联保护研究[D].华中科技大学,2023.
- [5]马勇.分布式电源接入配电网故障定位与恢复方法研究[D].宁夏大学,2022.