

大规模分布式光伏并网后对电力系统的影响

管翊辰

辽宁龙源新能源发展有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 全球能源格局的转型以及日益严峻的环境问题, 促使了清洁能源的迅速发展。作为绿色、可再生的能源形式, 光伏发电已成为全球能源结构改革的关键力量。在各种光伏应用中, 分布式光伏凭借其高效、灵活及靠近负荷中心的优势, 逐渐在电力供应中占据了重要地位。与传统集中式光伏系统相比, 分布式光伏能显著减少电力传输损耗, 提升电力系统的可靠性, 优化能源结构。随着分布式光伏发电规模的不断扩大, 光伏的大规模接入对电力系统的运行和管理方式产生了深刻影响, 尤其在电力系统结构、电能质量及调度灵活性等方面, 这些变化对传统电网提出了更高的要求。文中探讨大规模分布式光伏并网对电力系统的影响, 并分析应对这些挑战的技术策略, 期望为未来光伏发电的高效利用提供理论依据与实践指导。

[关键词] 分布式光伏并网; 电力系统; 电能质量; 储能技术; 智能调度

DOI: 10.33142/hst.v7i12.14676

中图分类号: TM7

文献标识码: A

The Impact of Large-scale Distributed Photovoltaic Grid Connection on the Power System

GUAN Yichen

Liaoning Longyuan New Energy Development Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: The transformation of the global energy landscape and increasingly severe environmental problems have prompted the rapid development of clean energy. As a green and renewable form of energy, photovoltaic power generation has become a key force in the global energy structure reform. In various photovoltaic applications, distributed photovoltaics have gradually taken an important position in power supply due to their advantages of high efficiency, flexibility, and proximity to load centers. Compared with traditional centralized photovoltaic systems, distributed photovoltaics can significantly reduce power transmission losses, improve the reliability of the power system, and optimize the energy structure. With the continuous expansion of distributed photovoltaic power generation, the large-scale integration of photovoltaics has had a profound impact on the operation and management of power systems, especially in terms of power system structure, power quality, and scheduling flexibility. These changes have put forward higher requirements for traditional power grids. The article explores the impact of large-scale distributed photovoltaic grid connection on the power system and analyzes the technical strategies to address these challenges, aiming to provide theoretical basis and practical guidance for the efficient utilization of photovoltaic power generation in the future.

Keywords: distributed photovoltaic grid connection; power system; power quality; energy storage technology; intelligent scheduling

引言

全球对气候变化的重视日益增加, 太阳能光伏发电作为清洁、环保、可持续的能源形式, 得到了广泛关注。分布式光伏系统凭借其灵活的安装方式、低成本及能够靠近用户的特点, 已成为光伏应用的重要组成部分, 逐步在全球范围内实现了应用。在“十四五”规划中, 分布式光伏发电被明确提出为能源转型的核心部分, 既有助于提高能源使用效率, 又能促进电力系统的绿色化与智能化发展。通过在用户侧广泛部署分布式光伏系统, 部分地区的电力供应瓶颈得到了有效缓解, 同时电力传输过程中的损失也得到了减少。尽管分布式光伏发电带来了显著的经济与环保效益, 但在大规模并网之后, 电力系统面临的挑战也更加复杂。光伏发电的波动性、间歇性特性, 以及大规模并网后带来的电网结构调整, 都对电力系统的运行提出了更高的要求。因此, 如何有效应对光伏并网对电力系统产生的影响, 已成为推动可持续能源发展的关键问题。

1 分布式光伏并网概述

1.1 分布式光伏并网的基本概念

分布式光伏系统是一种基于光伏技术开发的清洁能源发电形式, 其单体规模多在几千瓦到数兆瓦之间, 发电容量较小, 主要用于满足本地负荷需求, 余电则通过并网装置输送至配电网。适用范围涵盖住宅建筑、商业综合体以及工业设施等场景。分布式光伏因其靠近负荷中心的布局、灵活分散的特点和多点供电的模式而具有显著优势。相较于集中式光伏电站, 这种模式通过缩短电力传输路径有效减少了输电损耗。系统并网操作一般由用户侧完成, 接入低压或中压配电网较为常见。模块化设计、高效部署能力使得分布式光伏近年来在提升区域能源独立性和使用效率方面取得了显著成效, 其重要性已被广泛认可。

1.2 分布式光伏并网的基本原理

分布式光伏并网系统的核心技术涵盖了从光能转化到电能传输的多个环节, 主要设备包括光伏组件、逆变器、

控制器以及并网装置。太阳能通过光伏组件被直接转化为直流电，光伏效应是这一过程的基础。接着，直流电经逆变器转换为与电网电压和频率一致的交流电。与此同时，同步控制、谐波抑制等功能由逆变器负责，以确保输出电能满足并网标准。动态调节功率输出能力，是分布式光伏系统能够适应电网运行的重要特性之一。当本地负荷低于系统发电量时，余电通过并网点输入配电网；而当发电量不足时，则由电网为用户提供电力支持^[1]。在这一过程中，电能质量的维护尤为重要。通过抑制高次谐波和调整无功功率输出，逆变器对电网的稳定运行起到了关键作用。同时，防孤岛效应装置在分布式光伏系统中被普遍应用，以避免孤网运行导致的风险。

2 分布式光伏并网的作用

2.1 减少环境污染

光伏发电技术以清洁能源为基础，与传统的燃煤及天然气发电相比，光伏系统对环境的影响几乎可以忽略不计。通过广泛推动分布式光伏并网，化石能源的依赖被有效减少，从而显著降低大气污染物的排放量。特别是在城市或工业密集区域，分布式光伏能实现能源的就地生产与消费，减少了电力长距离传输所带来的能量损失，同时缓解了由于大规模集中发电所产生的污染问题。

2.2 降低电力传输损耗

分布式光伏系统通过其靠近负荷中心的布局，相比传统的集中式发电模式，光伏系统将发电单元部署在需求点附近，从源头上缩短了输电距离，有效降低了传输损耗。集中式发电往往依赖长距离高压输电，这不仅导致能量损耗的增加，而且还加剧了电网的负担。通过分布式光伏的部署，电力可在当地消耗，减少了电力长途传输的需要，极大提高了电网的运行效率。同时，这一布局也有效地缓解了电网线路的过载问题，尤其在城市负荷密集的区域，保证了供电系统的稳定性。

2.3 提高电力系统的抗灾能力

集中式电力系统常常依赖少数关键节点，一旦这些节点遭遇灾害，可能导致大范围的停电。然而，分布式光伏系统通过其分散的发电模式，有效减少了单点故障对电力系统的影响。分布式光伏单元分布在多个区域，即使主电网在某些地方受到损害，其他区域的光伏系统仍能够继续提供电力，确保本地电力供应的稳定。局部电网遭遇灾难性事件时，分布式光伏系统能够保持供电，减少了对电力系统整体功能的干扰^[2]。光伏系统发电的多余电力能够储存在储能设备中，待灾难发生时，储能装置可供给关键负荷如医院、通信设施等必需的电力。这一协同效应使得在灾害发生时，电力系统能更迅速恢复运行，从而有效降低次生灾害的发生概率。

3 大规模分布式光伏并网对电力系统的影响

3.1 电力系统结构的变化

随着大规模分布式光伏的并网，传统的“集中式发电

-输电-配电”模式被深刻改变，电力系统的结构发生了根本性转变。从过去依赖于大型发电厂集中供电，到如今实现发电与用电的双向互动，电力流动的方向不再单一。分布式光伏的并网并不仅仅是对发电模式的改变，它还使电力的供应变得更加分散且多样化。光伏系统的广泛部署使得电力的生产从单一的发电厂转变为多个分散点的集体贡献。电网在这一背景下需要重新审视其设计与运营方式，尤其是在考虑到光伏发电的不稳定性和波动性时，传统的电网调度策略显然已无法完全适应新的需求。

3.2 电网电能质量的影响

3.2.1 电压波动与频率偏移

分布式光伏发电输出功率的波动，受气候与日照条件的显著影响，尤其在光伏发电量剧烈变化的时刻，可能会对电网的稳定性带来威胁。电网电压的剧烈波动不仅影响电力设备的正常运行，也可能使设备在短时间内发生故障，尤其是对于一些精密的设备如变压器与电动机来说，电压的波动影响更为严重。与此同时，光伏发电的波动性也直接影响电网的频率稳定性。频率偏移通常意味着电网中电力供需的平衡出现问题，频率的过度偏离可能会导致电网的过载或设备故障。在某些情况下，频率的快速变化甚至可能导致整个电网的崩溃。

3.2.2 谐波及无功功率问题

分布式光伏系统在并网时，通常会使用逆变器将直流电转换为交流电，这一过程中不可避免地会产生高次谐波。谐波对电气设备的影响深远，尤其是在高功率设备运行时，谐波的累积可能导致设备效率下降、过热或故障，严重时甚至会影响电网的稳定性。此外，分布式光伏系统往往缺乏充足的无功功率补偿能力。电网在接入大规模光伏发电后，无功功率的不足可能导致电网电压不稳定。无功功率在维持电网电压稳定方面起着至关重要的作用，缺乏无功功率补偿可能导致电压波动加剧，甚至引发设备的损坏。

3.3 电网调度与运行的挑战

3.3.1 调度灵活性要求

在光伏发电量波动较大的情况下，电网负荷预测的准确性受到极大影响，从而要求调度具备更高的灵活性。光伏发电的波动性不仅增加了电力供应的不可预测性，还使得电网在应对突发变化时需要更加迅速地做出反应。传统的调度方式已经无法满足需求，因而必须采用更加智能化的调度技术，利用大数据、人工智能等手段，实时监测光伏发电的变化情况，以便及时调整电网负荷分配。

3.3.2 峰谷差增大的影响

白天，太阳能的利用使得电力供应充足，而夜间，光伏系统则不产生电力输出，导致夜间电力需求完全依赖传统电源。这种昼夜间的电力供应不平衡加大了电网在调峰方面的压力，特别是在传统火电机组的调峰过程中，由于频繁的启停，机组的经济性与可靠性受到严重考验。

3.4 电网安全稳定性的影响

光伏发电量的不确定性与间歇性,容易导致电网频率与电压的剧烈波动,从而影响到电网的稳定运行^[3]。尤其是在光伏发电量剧增或急剧下降时,电网面临的稳定性问题更加突出。此外,分布式光伏的并网模式可能导致电流的逆向流动,从而产生逆送潮流的现象。这种现象可能使得传统电网的保护机制无法适应,从而发生误动作,导致电力设备的故障或电网的停运。

4 应对分布式光伏并网挑战的技术与策略

4.1 分布式光伏并网的建设

4.1.1 智能电网建设

随着分布式光伏在电力系统中的逐步增多,传统的电网运行方式逐渐暴露出其局限性,智能电网应运而生。智能电网能够通过集成先进的测量、通信和控制技术,实时对电网状态进行监测,并在此基础上对电网的运行进行动态优化。通过智能电网的构建,不仅提高了电力流动的精确性,还为电网的灵活调度提供了强有力的支持。电网的自动化监控与控制技术使得系统能够迅速响应负荷波动和光伏发电的不稳定性,确保电力资源的高效使用。实时的反馈机制使得电力资源能够在需求较低时储存,在需求增加时释放,从而实现了更为精确的电力调度。

4.1.2 配网改造与加强

为了满足光伏发电带来的负荷波动,配电网必须具备足够的灵活性与承载能力。过去的配电网在设计时并未考虑到大规模分布式发电的复杂性,而如今这一局限性亟待解决。配网改造不仅仅是增加输电线路的容量,更包括对关键设备进行智能化升级,以适应光伏发电对电力系统的影响。例如,安装智能变压器、动态负荷调节装置等设备,可以使电网在不同负荷条件下保持稳定运行。通过这些措施的实施,配电网的运行效率得到了大幅提高,电网能够在满足分布式光伏需求的同时,维持系统的稳定性与可靠性。

4.2 新型储能技术的应用

4.2.1 储能技术的关键作用

光伏发电的间歇性和不可预测性给电网的稳定运行带来了很大的挑战,而储能系统则能有效缓解这一问题。储能系统通过将光伏发电中的多余电能储存,并在光伏发电不足时提供补充,能够平衡电网的负荷波动,确保电网稳定运行。除了平衡供需,储能技术还能够优化电网的调度。在光伏发电量过剩时,储能系统可以吸纳过剩的电能并储存;而当光伏发电量下降时,储能系统则能及时释放储存的电能,补充电网的需求,使得电网调度更加灵活高效,为大规模分布式光伏并网提供了强有力的支持。

4.2.2 储能系统与光伏的联合调度

将储能系统与光伏发电系统联合调度,是提升电网调度灵活性与电力系统效率的有效方式。通过协调光伏与储能系统的运行,可以实现能源输出的平稳化,避免了光伏

发电过程中出现的峰谷差以及电网波动。储能系统能够在电网需求较低时储存光伏发电的多余电能,而在电网负荷高峰期,及时释放储存的电能,以满足电网需求。通过光伏与储能的联合调度,电力系统的整体运行更加高效。尤其是在白天光伏发电量较大的情况下,储能系统不仅能缓解电力过剩问题,还能确保电力的可靠供应。这种调度模式能够减轻电网负荷,优化电力资源的使用,并提高光伏发电的消纳能力。随着智能调度系统的逐步完善,光伏发电与储能系统的协调运作将为电力系统的稳定性与灵活性提供更强的保障。

4.3 智能调度与运行控制

4.3.1 需求侧管理的优化

需求侧管理的优化为分布式光伏发电提供了重要的支撑。通过负荷预测与需求响应技术,电网能够引导用户调整用电模式,从而促进光伏发电的最大化消纳。特别是在光伏发电量较高时,通过智能调度可以实现用户负荷的合理调节,避免电网过载^[4]。需求响应技术使得电网能够在电力需求高峰时,通过调节用户需求来缓解电网的压力,而在光伏发电高峰时,电网则能够更高效地吸纳多余电力,不仅可以提高光伏资源的利用率,还能帮助电网保持稳定,确保系统在各种负荷条件下的安全运行。

4.3.2 分布式能源管理系统(EMS)

为了实现对分布式光伏、储能设备以及负荷的统一调控,建立分布式能源管理系统(EMS)显得尤为重要。EMS通过实时监控各类分布式能源设备的状态,能够在光伏发电量波动时,及时调度储能系统与电网负荷,确保电网的平稳运行,不仅能够提高电力资源的使用效率,还能够避免由于光伏发电与储能系统之间的不协调而带来的电能浪费。EMS的关键优势在于其智能化的调度功能,可以根据电网的实时需求,自动调整各类分布式能源设备的输出。例如,当光伏发电量较高时,EMS可以指引储能系统进行充电,当光伏发电量较低时,储能系统则会为电网提供电能补充。通过分布式能源管理系统的有效运作,电网的运行效率得到了大幅提高,整体系统的稳定性也得到了显著增强。

4.4 政策与标准的支持

为了推动光伏发电与电力系统的深度融合,相关政策与标准的制定尤为关键。政策的引导作用能够促进光伏发电的健康发展,并确保各项技术创新能够顺利落地。而标准的制定则为光伏电力系统的并网提供了技术规范,确保了分布式光伏系统接入电网后能够符合各项安全与稳定性要求。制定合理的分布式光伏并网标准,不仅能推动光伏电力消纳,还能促进储能技术及智能调度技术的广泛应用。此外,政策支持还可以为光伏发电提供经济上的激励措施,例如,通过调整电价机制或提供补贴,激励更多的企业与用户投资光伏系统。

5 结束语

随着分布式光伏发电的广泛应用,光伏已逐步成为全

球能源转型的重要组成部分。然而,随着光伏发电接入电力系统规模的不断扩大,电网面临的挑战愈加复杂。光伏发电的波动性与间歇性特征,以及大规模接入后电网结构的调整,要求电力系统在运行和管理上进行深度创新。技术创新在确保电网稳定与高效运行方面起着至关重要的作用。智能电网的建设使得电力系统能够实现实时监控与动态优化,从而增强了电网的调节能力;储能系统有效地缓解了光伏发电波动对电网的影响,为电网提供了灵活的调节手段;而分布式能源管理系统的优化,使得光伏发电、储能设备及负荷的调度能够精确协调,提高了电力系统的整体运行效率与稳定性。随着技术的不断突破与政策的逐步完善,分布式光伏将在未来电力系统中发挥更大的作用,为全球能源转型助力,并推动可持续发展目标的实现。

[参考文献]

- [1]胡桂芬. 屋面户用光伏支架系统构造设计与工程应用[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(1): 153-155.
 - [2]赵新宇. 基于粒子群-K 均值聚类算法的分布式光伏并网网损优化方法[J]. 电子产品世界, 2024, 31(4): 53-56.
 - [3]韩宇,周前,李勇,等. 户用光伏接入的低压配电网电能质量问题分析与附加损耗量化评估[J]. 电力科学与技术学报, 2024, 39(3): 177-186.
 - [4]顾伟国,朱国栋,张海兴,等. 分布式光伏并网对低压配电网的影响[J]. 电工技术, 2024(1): 366-368.
- 作者简介: 管翊辰(1999.2—), 毕业院校: 长沙理工大学城南学院, 所学专业: 电气工程及其自动化, 当前工作单位: 辽宁龙源新能源发展有限公司, 职务: 二级运检员。