

分布式电源接入对输配电系统的影响及技术对策探讨

冀连东, 崔家荣

鄂尔多斯供电公司输电管理二处, 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文探讨了分布式电源接入对电力输配电系统的影响, 包括其带来的挑战和意义。首先分析了分布式电源对电网结构和运行方式的变化, 并重点讨论了电压波动、电能质量问题、双向潮流等主要挑战。针对此类问题, 提出了提高电网灵活性、采用储能系统及先进监控技术等技术对策。此外, 文章还强调了创建配套的法规框架和政策调整以支持分布式电源接入的重要性。研究结果表明, 在分布式能源时代, 为保障电力系统可持续发展, 需要制定全面的技术与监管战略。

关键词: 分布式电源; 电力输配电系统; 电网挑战; 技术对策; 储能系统; 电压稳定

Discussion on the Impact of Distributed Power Source Access on Transmission and Distribution Systems and Technical Countermeasures

Ji Liandong, Cui Jiarong

Erdos Power Supply Company Transmission Management Division 2, Erdos, Inner Mongolia 017000

Abstract: This paper explores the impact of distributed power source access on power transmission and distribution systems, including its challenges and implications. It begins by examining the structural and operational changes distributed power sources introduce to power networks. The discussion highlights key challenges such as voltage fluctuations, power quality issues, and bidirectional power flows. Technical countermeasures, such as grid flexibility improvements, energy storage systems, and advanced monitoring technologies, are proposed to address these challenges. The paper also emphasizes the importance of regulatory frameworks and policy adjustments to support the integration of distributed power sources. These findings underline the need for a comprehensive technological and regulatory strategy to ensure the sustainable development of power systems in the distributed energy era.

Keywords: distributed power supply; electric power transmission and distribution system; grid challenges; technical countermeasures; energy storage system; voltage stability

引言

近年来, 全球能源转型加速, 新能源尤其是可再生能源的利用备受瞩目。分布式电源作为清洁、高效且贴近负荷中心的供电模式, 在此背景下迅速发展, 成为电力系统不可或缺的一部分, 推动传统集中式输电网向分布式、多能互补的方向转变, 优化了能源利用效率, 有助于碳中和目标的实现。然而, 分布式电源的大规模接入也给输配电系统的稳定运行、调度、保护及升级带来了新挑战。由于长期以集中式电源为设计基础的输电网, 与分布式电源接入后引发的双向功率流、电压波动、谐波干扰等运行和控制问题并不完全兼容, 因此, 如何在确保既有输配电网安全可靠运行的同时, 支持分布式电源的高效接入, 成为现代电网建设的重要研究课题。研究分布式电源接入对输配电系统的影响, 并提出相应的技术应对措施, 不仅能提升电力系统的灵活性, 还能促进可再生能源的平稳接入, 实现资源的优化配置, 具有重要的理论意义和实践价值。

一、分布式电源接入的特点及现状分析

(一) 分布式电源的定义与类型

分布式电源是位于电力用户附近, 利用可再生能源或小型电力技术发电的设备, 具有小型化和多样化特点。其容量通常在几

十千瓦至几百兆瓦间, 部署在接近用电负荷地点, 减轻远距离输电压力。分布式电源涵盖光伏、风能、生物质能等多种技术, 提高了供电系统灵活性和抗风险能力, 同时显著减少二氧化碳及其他污染物排放, 对环境友好。根据技术和能源形式, 分布式电源主要分为光伏发电(利用太阳能)、风力发电(利用风力)、小

作者简介:

冀连东(1988.03-), 男, 汉族, 籍贯: 山西省朔州市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 输配电, 身份证号: 140621198803055817;

崔家荣(1993.08-), 男, 汉族, 籍贯: 内蒙古自治区呼和浩特市, 研究生, 工程师, 研究方向: 输电线路专业, 身份证号: 150125199308230213。

型燃气轮机（适用于应急和负荷调节）、生物质发电（利用废弃物）以及其他类型，如地热能、波浪能发电和使用燃料电池的微型发电装置等。

（二）分布式电源技术发展现状

近年来，分布式电源在全球电力系统转型中扮演关键角色，得益于能源需求增长、技术进步及政策支持。欧美国家通过激励政策扶持分布式电源，亚洲国家如日本、中国也积极推进。中国《可再生能源法》等政策推动分布式电源快速发展，特别是光伏和风电，成为绿色能源重要支撑。分布式电源并网规模逐年增加，华北、华东光伏发电领先，风电集中在“三北”地区，但分布式风电政策促使东南沿海、内陆项目兴起。分布式电源的推广和区域扩大，优化了能源结构，提升了偏远地区能源可及性。

（三）分布式电源接入输配电系统的优势

分布式电源接入输配电系统，不仅颠覆了传统电网的运行模式，还带来了多重实际优势。首先，由于分布式电源通常位于接近负荷中心的位置，这有效减少了远距离输电过程中的电能损耗，特别是在农村地区和负荷分散区域，这一优势尤为显著。其次，分布式电源能够分担传统电网的供电负担，缓解主网压力，并通过高效利用清洁能源，显著提升了能源利用率，同时在高峰负荷时为主网提供必要的支撑。最后，分布式电源还增强了地方能源的自给自足能力，减少了对输电的依赖，其清洁属性更是助力区域实现低碳发展目标，为区域经济注入了可持续发展的动力。

二、分布式电源接入对输配电系统的影响

分布式电源的接入对传统输配电系统带来了深远的影响，既带来了机遇，也伴随了挑战。以下从电网结构与运行方式、电能质量、电压稳定性与无功功率问题、系统保护与故障处理的难度，以及对输配电网规划与经济性的挑战五个方面，具体分析其影响。

（一）对电网结构与运行方式的改变

分布式电源的接入深刻改变了传统电网以集中发电为主的结构，使得电力流动模式更加复杂。传统电网中，电能通常自上而下从集中发电厂经高压输电网络传输至中、低压配电网，最终送达终端用户。然而，随着分布式电源的广泛接入，部分电源位于配电网甚至用户侧，导致电网中出现双向功率流成为常态，增加了电网运行的复杂性。例如，在低负荷时段可能出现“倒送电”现象，这对传统单向供电模式的设备提出了适应性改造的要求。此外，为了应对分布式电源随机波动性和间歇性的特点，电网运行需要更加灵活的调度能力，使得传统电网对调度中心的依赖逐步转向需要更多分布式的自治调控能力，这一转变推动了智能电网和微电网技术的快速发展。

（二）电能质量问题

分布式电源的接入，特别是间歇性能源如太阳能光伏和风力发电，其输出功率易受自然条件（如日照、风速等）变化的影响，从而引发一系列电能质量问题。这些问题主要包括电压波动

与闪变，即分布式电源的快速启动或停机可能导致电网电压的波动，频繁的起停还会产生电压闪变，对敏感设备的运行产生不利影响；谐波污染，由于许多分布式电源通过逆变器接入电网，这些逆变器可能产生谐波分量，进而威胁电网的谐波水平和稳定运行；以及三相不平衡，相较于集中式发电，分布式电源的异地分散布置可能加剧电网三相负荷的不平衡问题。在分布式电源接入比例较高的情况下，这些电能质量问题尤为严重，因此，采取有效的技术措施，如利用动态电压恢复装置（DVR）和有源滤波器等设备，来改善电能质量显得尤为重要。

（三）电压稳定性与无功功率问题

分布式电源的接入给电压稳定性和无功功率平衡带来了新的挑战。由于其输出功率具有波动性，分布式电源的接入可能直接影响局部区域的电压稳定性，甚至带来电压崩溃的风险。同时，逆变器型分布式电源通常缺乏自发提供无功功率的能力，这在大规模接入的情况下，可能加剧电网的无功功率供需平衡问题，进而影响整体电网的电压调节能力。为解决这一问题，一方面需要推动分布式电源的无功功率补偿能力建设，如在逆变器设计中增加无功功率调节功能；另一方面，可以在电网中部署动态无功补偿设备，如静止无功补偿器（SVC）和静止同步补偿器（STATCOM），以增强电网的无功调节灵活性，从而有效应对分布式电源接入带来的电压稳定性和无功功率平衡问题。

（四）系统保护与故障处理难度的增加

分布式电源接入电网后，对保护系统带来了显著挑战。一方面，继电保护逻辑变得更为复杂。在传统单电源供电模式下，供电方向明确，继电保护设计相对简单。然而，分布式电源的接入导致双向功率流动，改变了故障电流的流向和大小，这可能使得传统保护设备功能失效或误动。另一方面，故障检测与定位的难度也有所增加。分布式电源的接入可能降低电网短路电流水平，使得故障电流幅值减小，从而为故障检测带来更大挑战。同时，由于分布式电源广泛分布于电网中，故障定位与隔离的时间可能会延长。因此，为适应分布式电源接入带来的这些变化，需要重新设计保护技术，例如采用基于广域信息的保护方案，或引入高速通信和智能算法的综合保护系统，以提升电网对复杂故障的检测与处理能力。

三、针对分布式电源接入的技术对策

分布式电源的接入在推动能源结构转型和提升能源利用率方面发挥了重要作用，但同时也对传统电力系统带来了深远挑战。为确保电网运行的安全性、可靠性和高效性，需要制定和实施一系列技术对策，以应对因分布式电源接入而产生的问题。以下从多个技术角度具体分析应对策略：

（一）电压稳定性与无功补偿技术

随着分布式电源大量接入，配电网电压波动问题加剧，可能导致电压失稳，且部分分布式电源主要输出无功功率，加剧无功功率不足。为应对此，可采取以下措施：安装动态无功补偿设备（如SVC、STATCOM）及时调节电压与无功功率；引入具备无

功补偿能力的智能逆变器，使分布式电源动态提供或吸收无功功率；结合分布式电源分布特性，优化电网运行电压曲线，通过配电变压器分接头调节或配电自动化技术，降低电压偏差，从而维持配电网的电压稳定性。

（二）电能质量改进方法

分布式电源，特别是基于逆变器的光伏和风电系统，可能引发谐波、电压闪变、电网频率波动等电能质量问题。为改进电能质量，可采取以下措施：安装有源滤波器（APF）或组合滤波器消除谐波；采用柔性负载策略和定制化动态电压调节设备减缓电压闪变，并优化电源布局降低相间电压不平衡；加强并网设备的电磁兼容性设计，完善接入点的电气隔离与屏蔽措施，从源头控制高频噪声干扰，从而降低对电网的不良影响。

（三）智能电网与数字化建设

为实现对分布式电源的准确管理，需推动电网智能化和数字化建设。通过部署先进量测系统（AMS）和同步相量测量装置（PMU），提升对分布式电源接入点及其功率变化的智能感知与实时监控能力。建立分区域的智能能量管理系统（EMS），协同管理分布式能源、储能装置和负荷，优化调度以降低运行风险。同时，依托大数据平台和AI算法进行电网状态预测与运行优化，为未来电网稳定运行提供精准决策支持。

（四）系统保护与控制优化

分布式电源接入给传统电网保护配置和控制方式带来挑战，如保护范围模糊、故障定位困难等。为此，需设计适用于多馈入、多电源分布的选择性保护方案，应用智能化断路器实现自适应保护，及时隔离故障点。同时，推动主站与分站协同的分层控制体系建设，使调度中心能动态分配资源，并赋予分布式电源接入单元独立调节与保护能力。

（五）储能技术与柔性调度策略

为缓冲分布式电源的波动特性，需引入储能系统并优化调度策略。可设计多功能储能装置，如锂电池、超级电容器或飞轮储能，用于功率调频、无功补偿和备用电力供给。同时，根据负荷需求和分布式电源分布优化储能系统布局，缩短传输距离提升能效。结合储能技术与分布式能源管理，使用先进算法制定柔性调度策略，实现峰谷平抑与负载均衡，提高电网运行的灵活性和稳定性。

（六）政策支持与技术标准化

政策和标准的完善是分布式电源平稳接入的关键。需制定分布式电源并网接入规范，包括并网电压等级、无功输出范围、电能质量指标等，提供统一实施依据。同时，鼓励技术创新与试点示范工程，推动储能、新型逆变器等技术研发及成果转化。此外，完善电价机制，实施灵活定价，提升分布式能源经济性，鼓励用户主动参与并网，共同促进大规模分布式电源的平稳接入。

四、结束语

分布式电源的兴起深刻影响了传统电力系统的输电与配电，既促进了能源供应多样化和灵活性，也带来了电压波动、不稳定性增加等问题。我们通过探讨技术措施如智能电网技术、先进储能系统和灵活监控管理策略，应对这些挑战。展望未来，分布式电源应用将扩大，电力系统需提升兼容性，引入人工智能、先进材料等新技术，同时建立灵活电力交易机制和支持政策，以实现可持续发展目标。

参考文献

- [1] 邱维斌. 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.
- [2] 吴颖颖. 分布式能源接入对输电系统的影响及应对措施分析 [J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(11): 98-100.
- [3] 黄闽. 分布式电源接入对供电系统的影响及应对策略 [J]. 光源与照明, 2024, (03): 162-164.
- [4] 吕静. 计及条件风险价值的含电动汽车微电网低碳经济调度研究 [D]. 燕山大学, 2023.
- [5] 刘嵩. 分布式电源接入对配电系统的影响及应对策略 [C]// 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集（五）. 国网黑龙江省电力有限公司鸡西市郊区供电分公司, 2024: 328-330.
- [6] 乔佳伟. 优化运行策略与算法的分布式能源系统容量配置研究 [D]. 华北电力大学（北京）, 2023.
- [7] 张赛赛. 分布式能源并网海量数据处理与辅助决策技术研究 [D]. 华北电力大学（北京）, 2023.
- [8] 裴春博. 岸基供电下船舶分布式能源虚拟同步发电机控制方法研究 [D]. 青岛科技大学, 2023.
- [9] 高峰. 基于分布式能源的小型社区能量路由器控制策略研究 [D]. 太原科技大学, 2023.
- [10] 谢敏, 黄莹, 李弋升, 等. 分布式能源动态聚合于虚拟电厂的演化博弈决策方法和机理分析 [J]. 电网技术, 2023, 47(12): 4958-4977.