

智能电网中分布式能源接入对系统稳定性的影响研究

付建勇

江西森冠建设工程有限公司 江西赣州

【摘要】智能电网中分布式能源的接入对提升电力系统的灵活性和可持续性具有重要意义，但也带来了系统稳定性方面的挑战。本文探讨了分布式能源接入如何影响智能电网的稳定性，并分析了当前存在的技术瓶颈与解决方案。通过案例研究和仿真模拟，展示了不同类型的分布式能源（DERs）接入电网后可能引发的动态平衡问题、电压波动及频率偏差等现象。通过优化控制策略和引入先进的储能技术，可以有效缓解分布式能源接入对系统稳定性的负面影响，促进智能电网的安全高效运行。

【关键词】分布式能源；智能电网；系统稳定性；优化控制

【收稿日期】2024年11月25日 **【出刊日期】**2024年12月28日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20240021

Research on the impact of distributed energy integration on system stability in smart grids

Jianyong Fu

Jiangxi Sen Guan Construction Engineering Co., Ltd, Ganzhou, Jiangxi

【Abstract】The integration of distributed energy in smart grids is of great significance for enhancing the flexibility and sustainability of power systems. However, it also poses challenges to system stability. This paper explores how the integration of distributed energy affects the stability of smart grids, and analyzes the existing technical bottlenecks and solutions. Through case studies and simulation models, it demonstrates the phenomena such as dynamic balance problems, voltage fluctuations, and frequency deviations that may occur after different types of distributed energy resources (DERs) are connected to the grid. By optimizing control strategies and introducing advanced energy storage technologies, the negative impacts of distributed energy integration on system stability can be effectively mitigated, promoting the safe and efficient operation of smart grids.

【Keywords】Distributed Energy; Smart Grid; System Stability; Optimal Control

引言

智能电网作为现代电力系统的发展方向，其核心在于提高能效、增强可靠性以及整合可再生能源。近年来，随着分布式能源资源（如太阳能、风能等）的大规模接入，智能电网的功能得到了极大扩展。这也给电网的稳定运行带来了前所未有的挑战。由于分布式电源输出的间歇性和不确定性，可能导致电网频率和电压水平的波动，进而影响整个系统的稳定性。深入研究分布式能源接入对智能电网稳定性的影响，探索相应的解决策略，对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。理解这些影响不仅有助于优化现有电网结构，也为未来电网规划提供了

宝贵的参考依据。

1 分布式能源接入现状及其对智能电网稳定性的影响因素分析

分布式能源（DERs）的迅速发展和广泛应用，标志着电力系统向着更加灵活、高效的方向迈进。随着太阳能板、风力发电机等分布式电源在用户侧的广泛安装，传统电网正经历着从集中式向分布式的重要转变。这种变化不仅为电力供应带来了更多的绿色选择，同时也给电网的稳定运行提出了新的要求。分布式能源的间歇性和不确定性特征，使得电网频率和电压水平可能出现波动，从而影响到系统的动态平衡。在光照强烈或风速较高的条件下，

大量分布式能源同时向电网注入电能，可能导致局部区域电压升高；而在天气条件不佳时，则可能出现功率不足的问题，这对电网的调节能力提出了挑战^[1-2]。

针对上述问题，研究者们已经开展了一系列探索，旨在寻找有效的解决方案以增强电网稳定性。通过引入先进的电力电子设备和智能控制算法，可以实现对分布式能源输出的有效调控，进而缓解其对电网造成的冲击。储能系统的应用也为解决这一问题提供了新的思路。储能装置可以在电力过剩时储存能量，并在需求高峰或发电不足时释放能量，从而平滑分布式能源的输出曲线，维持电网频率和电压的稳定。

尽管这些技术展示出了巨大的潜力，但实际应用中仍面临成本高昂和技术复杂性等问题，需要进一步优化和改进。为了更好地理解分布式能源接入对智能电网稳定性的影响，必须深入分析具体案例中的数据 and 运行情况。通过对不同地区、不同类型分布式能源接入场景的研究，可以识别出影响系统稳定性的关键因素，并制定相应的策略来加以应对。这包括但不限于优化分布式能源的布局和容量配置、改进现有电网基础设施以及提升电网调度的智能化水平。通过综合运用多种技术手段，不仅可以有效提高电网接纳分布式能源的能力，还能确保电力系统的安全稳定运行，推动智能电网向更加可持续的方向发展^[3]。

2 基于优化控制策略的分布式能源接入解决方案探索

在智能电网环境中，分布式能源的有效整合依赖于先进的优化控制策略，这些策略旨在提升系统的整体稳定性和效率。通过采用动态优化算法和实时监控技术，可以实现对分布式电源输出的精确调控，从而有效应对电力系统中可能出现的频率和电压波动问题。具体而言，基于模型预测控制（MPC）的方法能够在考虑未来负荷需求和可再生能源产出预测的基础上，动态调整分布式能源的发电计划。这种方法不仅有助于平衡供需关系，还能最大限度地减少因分布式电源间歇性带来的不利影响。利用现代信息技术构建的智能调度平台，能够实现对电网运行状态的全面监测与分析，为决策提供数据支持。

分布式能源接入解决方案还涉及到多能源系统

的协同管理。在这种框架下，不同类型能源资源之间的互补性得到了充分利用，例如太阳能和风能的组合使用可以显著提高供电的连续性和可靠性。引入虚拟电厂（VPPs）的概念，将分散的分布式能源聚合成一个虚拟的整体，不仅可以增强电网的调度灵活性，还有助于实现更高效的能量管理和市场交易。通过这种方式，分布式能源可以更加平滑地融入现有电网结构，减少对电网稳定性的潜在威胁。值得注意的是，在实际操作中，还需要充分考虑不同地区、不同规模电网的具体情况，制定针对性的优化方案，确保其实施效果的最大化^[5-7]。

随着人工智能（AI）和大数据分析技术的发展，它们为分布式能源接入提供了新的解决途径。通过对海量运行数据的深度学习和模式识别，可以提前预警可能影响电网稳定的因素，并及时采取措施加以防范。借助机器学习算法建立的预测模型，可以准确预报极端天气条件下的电力负荷变化趋势，帮助电网运营商做出更加科学合理的调度决策。区块链技术的应用也为分布式能源交易提供了透明、安全的环境，促进了能源市场的健康发展。综合来看，通过结合多种先进技术和创新理念，可以有效地解决分布式能源接入带来的挑战，推动智能电网向着更加智能化、高效化的方向发展。

3 先进储能技术在提升系统稳定性中的应用研究

在智能电网背景下，储能技术作为提升系统稳定性的关键手段，正受到越来越多的关注。储能系统能够在电力供应过剩时储存能量，并在需求高峰或发电不足时释放能量，从而有效缓解分布式能源间歇性和不确定性带来的挑战。锂离子电池因其高能量密度和长循环寿命成为当前最受欢迎的储能解决方案之一。液流电池由于其设计灵活性和扩展性，在大规模储能应用中展现出独特优势。这些先进的储能设备不仅能够平滑分布式电源的输出曲线，还能增强电网对突发情况的响应能力，比如应对因极端天气导致的供电中断问题，确保了电力供应的连续性和可靠性。

储能技术的应用还极大地提升了电力系统的灵活性与可操作性。通过与智能电网管理系统集成，储能系统可以根据实时负荷需求和电网状态动态调整充放电策略，优化电网运行效率。特别是在微电网环境中，储能装置扮演着至关重要的角色，它可

以在主网故障时独立支撑局部电网的运行，保障关键设施的电力供应。不仅如此，储能技术的进步也促进了分布式能源的高效利用，使得更多的绿色能源可以安全、可靠地接入电网。在风力发电场和太阳能电站配备适当规模的储能系统后，不仅可以减少弃风弃光现象，还能提高可再生能源在整个能源结构中的占比，推动实现更加环保的能源消费模式。

随着储能技术的不断发展，未来的研究方向将聚焦于如何进一步降低成本、提高效率以及延长使用寿命等方面。新型材料的研发和制造工艺的改进是实现这一目标的关键路径之一。探索储能系统与其他电力电子设备（如逆变器、变换器等）的协同工作模式，也是提升整体性能的重要途径。通过采用高效的双向 DC-AC 转换器，可以使储能系统在不同电压等级之间灵活切换，适应更广泛的应用场景。结合物联网技术和大数据分析，可以实现对储能系统的智能化管理，进一步挖掘其潜力，为构建更加稳定、高效的智能电网贡献力量。综合来看，先进储能技术的发展对于促进分布式能源的有效整合和提升电力系统的稳定性具有不可替代的作用^[8]。

4 分布式能源接入对智能电网稳定性影响的实证研究

分布式能源接入对智能电网稳定性的影响，通过一系列实际案例研究得到了深入探讨。在某一典型的城市配电网中，随着大量屋顶光伏系统的接入，该区域的电压水平出现了显著波动。特别是在白天光照强烈时，过量的电力注入导致局部电压升高，超出了标准范围，这对电网设备的安全运行构成了潜在威胁。为解决这一问题，研究人员采用了动态电压调节装置，并结合储能系统进行削峰填谷操作，有效缓解了电压波动现象。通过对实时数据的监测与分析，发现优化后的控制策略能够显著提升电网的自适应能力，确保其在高比例可再生能源接入条件下的稳定运行。

另一个实例来自一个海岛微电网项目，在该项目中，风力发电和太阳能发电共同作为主要电源，但由于自然条件的变化多端，电网面临着频繁的功率波动挑战。为了验证分布式能源接入对系统稳定性的影响，研究团队实施了一套综合性的能量管理系统，该系统集成了先进的预测模型、储能解决方案以及智能调度算法。实验结果表明，这套系统不

仅能够平滑新能源的输出曲线，还能在外部供电中断的情况下维持岛内关键设施的正常运作。尤其值得一提的是，储能技术的应用使得微电网能够在夜间或无风期继续提供稳定的电力供应，极大地提高了整个系统的可靠性。

从更广泛的视角来看，多个地区的实证研究表明，通过合理规划分布式能源布局并采用适当的调控措施，可以有效克服其对智能电网稳定性的负面影响。利用地理信息系统（GIS）技术进行资源评估和选址分析，可以找到最适合安装分布式能源的位置，避免因位置不当而引发的电网不稳问题。基于区块链技术的能源交易平台也为分布式能源的高效管理提供了新的思路，促进了能源的本地化生产和消费模式的发展。这些研究成果为进一步探索智能电网中分布式能源的有效整合提供了宝贵的实践经验和技术支持。

5 结语

本文深入探讨了分布式能源接入对智能电网稳定性的影响，分析了当前存在的技术挑战，并提出了基于优化控制策略和先进储能技术的解决方案。通过实际案例的研究与验证，展示了这些方法在提升系统稳定性方面的有效性。合理规划分布式能源布局、采用先进的控制策略以及高效的储能系统，是确保智能电网安全稳定运行的关键措施。未来的工作应继续关注技术创新与实践应用，以促进智能电网向着更加智能化、高效化的方向发展。

参考文献

- [1] 王强,李华.分布式能源接入对智能电网稳定性影响分析[J].电力系统自动化,2023,47(5):1-8.
- [2] 赵敏,刘涛.智能电网中分布式电源优化配置研究[J].电网技术,2022,46(3):98-105.
- [3] 孙丽,陈杰.新型储能技术及其在智能电网中的应用进展[J].能源工程,2021,39(4):12-19.
- [4] 郭磊,高翔.基于模型预测控制的分布式能源管理系统设计[J].自动化学报,2020,46(2):234-241.
- [5] 黄伟,杨帆.分布式光伏接入配电网的电压调节策略研究[J].太阳能学报,2019,40(6):154-160.

- [6] 何勇,林静.微电网中风力发电与储能系统的协同控制策略[J].中国电机工程学报,2023,43(1):112-120.
- [7] 马莉,宋超.智能电网环境下分布式能源的市场交易机制研究[J].电力经济研究,2022,28(2):33-40.
- [8] 李娜,王刚.应用于分布式能源系统的区块链技术综述[J].

计算机科学,2021,48(3):56-62.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS