

智能电网中分布式能源优化调度研究

石万成

深圳市浩沣科技发展有限公司，广东深圳，518057；

摘要：本文聚焦于智能电网中的分布式能源优化调度问题。首先阐述了智能电网与分布式能源的基本概念及其相互关系，分析了分布式能源接入智能电网带来的机遇与挑战。接着详细探讨了分布式能源优化调度的目标与原则，包括经济性、可靠性、环保性等多目标的平衡。然后从整体框架、关键技术和策略等方面对分布式能源优化调度的方法进行了深入研究，介绍了集中式、分布式以及混合式等不同调度架构，并分析了需求侧响应、储能系统协同等策略在优化调度中的重要作用。最后对智能电网中分布式能源优化调度的发展趋势进行了展望，强调了技术创新、市场机制完善以及政策支持等方面的必要性，以期为相关研究和实践提供一定的参考与借鉴。

关键词：智能电网；分布式能源；优化调度；调度策略

DOI: 10.69979/3041-0673.25.12.021

引言

随着全球能源危机的加剧以及对环境保护的日益重视，智能电网作为一种先进的电力系统架构应运而生。智能电网融合了先进的通信、信息、控制和电力技术，旨在实现电力系统的高效、可靠、经济和环保运行。而分布式能源（Distributed Energy Resources, DER）作为智能电网的重要组成部分，涵盖了太阳能、风能、小型水电、生物质能、微型燃气轮机等多种能源形式，具有能源利用效率高、环境影响小、靠近用户侧等优点。然而，分布式能源的间歇性、随机性以及规模的不断扩大，给电网的运行与调度带来了诸多挑战，因此深入研究智能电网中分布式能源的优化调度具有重要的理论意义和实际应用价值。

1 智能电网与分布式能源概述

1.1 智能电网的概念

智能电网是将先进的传感器、通信、自动化和控制技术与电力系统基础设施相结合，实现对电网的实时监测、分析、控制和优化，从而提高电网的可靠性、灵活性、效率和环境友好性。它能够自动适应电力供需的变化，优化电力资源配置，增强电网对各种干扰和故障的抵御能力，同时为用户提供更优质、个性化的电力服务^[1]。

1.2 分布式能源的特点

分布式能源具有以下显著特点：一是靠近用户侧，能够减少电能在传输过程中的损耗，提高能源利用效率；二是能源来源多样化，包括可再生能源和传统能源的多种组合，有助于实现能源的多元化供应；三是具有一定的灵活性，可以根据用户的负荷需求和能源资源的可用性进行快速调整；四是间歇性和随机性较强，例如太阳

能受日照条件影响，风能受风力大小和风向变化影响，这给电网的稳定运行带来了不确定性。

1.3 分布式能源与智能电网的关系

分布式能源的接入为智能电网提供了丰富的能源资源，有助于提高电网的能源供应能力和可再生能源的消纳能力，增强电网的灵活性和适应性。智能电网则为分布式能源的接入和优化运行提供了技术支撑和管理平台，通过先进的调度策略和控制手段，能够有效解决分布式能源的间歇性和随机性问题，实现分布式能源与集中式能源的协调运行，充分发挥分布式能源的优势，促进能源的可持续发展。

2 分布式能源优化调度的目标与原则

2.1 优化调度的目标

2.1.1 经济性目标

优化调度应尽量降低电网的运行成本，包括发电成本、输电成本、储能成本等。通过合理安排分布式能源的出力，减少对传统化石能源发电的依赖，降低燃料成本；同时优化电网的潮流分布，减少电能损耗，提高电网的经济运行水平。

2.1.2 可靠性目标

确保电网的稳定可靠运行是优化调度的基本要求。在分布式能源接入的情况下，要充分考虑其间歇性和随机性对电网可靠性的影响，通过合理的调度策略和备用配置，提高电网的供电可靠性和抗干扰能力，减少停电事故的发生。

2.1.3 环保性目标

分布式能源大多属于清洁能源，优化调度应充分利用分布式能源的环保优势，减少传统能源发电产生的污染物排放，如二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等，实现

电力系统的可持续发展，促进环境保护目标的实现。

2.1.4 电能质量目标

分布式能源的接入可能会对电网的电能质量产生影响，如电压波动、谐波等问题。优化调度需要考虑如何通过合理的控制手段和调度策略，改善电网的电能质量，满足用户对高质量电力的需求。

2.2 优化调度的原则

2.2.1 安全第一原则

在优化调度过程中，必须始终将电网的安全运行放在首位，确保电网的电压、频率等参数在允许的范围内，避免因分布式能源的不合理接入和调度导致电网故障和安全事故的发生。

2.2.2 统筹兼顾原则

要综合考虑经济性、可靠性、环保性和电能质量等多个目标之间的关系，寻求各目标之间的平衡和协调。在实现某一目标时，不能以牺牲其他重要目标为代价，而是要通过科学的调度方法和策略，实现多目标的优化。

2.2.3 分层分区原则

根据智能电网的结构和分布式能源的分布情况，将电网划分为不同的层次和区域，进行分层分区的调度管理。这样可以提高调度的灵活性和效率，更好地适应分布式能源的分散性和多样性特点，同时也有利于协调各区域之间的能源供需关系^[2]。

2.2.4 动态适应原则

分布式能源的出力受自然条件等因素的影响具有较强的动态性，优化调度应具备动态适应能力，能够根据实时的能源资源状况、负荷需求和电网运行状态，及时调整调度策略和控制措施，实现对电网的动态优化调度。

3 分布式能源优化调度的方法

3.1 调度架构

3.1.1 集中式调度架构

在集中式调度架构下，电网的调度中心集中控制和管理整个电网的运行，包括分布式能源的调度。调度中心通过收集电网的实时运行数据，利用优化算法和模型对分布式能源的出力进行集中调度，以实现全局的优化目标。这种架构的优点是能够实现对电网的统一协调控制，优化全局性能；但缺点是计算复杂度较高，对通信和信息处理能力要求较强，且在面对大规模分布式能源接入时，可能会出现信息处理瓶颈和调度响应延迟等问题。

3.1.2 分布式调度架构

分布式调度架构将调度决策分散到各个分布式能源单元或局部区域，每个单元或区域根据自身的运行状态和局部信息进行自主调度决策，并通过一定的协调机

制实现与其他单元或区域的协同运行。这种架构的优点是能够充分发挥分布式能源的自主性和灵活性，降低通信和信息处理压力，提高调度的实时性和适应性；但缺点是难以实现全局的最优调度，各单元或区域之间的协调难度较大，可能会出现局部优化与全局优化之间的矛盾。

3.1.3 混合式调度架构

混合式调度架构综合了集中式和分布式调度架构的优点，将电网划分为多个层次和区域，在不同层次和区域采用不同的调度方式。例如，在电网的顶层采用集中式调度，对整个电网的运行进行宏观协调和优化；在局部区域或分布式能源单元采用分布式调度，实现局部的自主优化运行。通过这种分层分区域的混合式调度架构，可以在一定程度上兼顾全局优化和局部灵活性，提高电网的调度效率和性能。

3.2 关键技术

3.2.1 预测技术

准确的分布式能源出力预测和负荷预测是优化调度的基础。由于分布式能源的间歇性和随机性，需要采用先进的预测方法和技术，如物理模型法、统计分析法、机器学习算法等，结合气象数据、历史运行数据等多源信息，提高预测的精度和可靠性。通过准确的预测，调度人员可以提前了解分布式能源的可用性和负荷的变化趋势，为优化调度提供有力的依据^[3]。

3.2.2 优化算法

优化调度需要解决复杂的多目标、多约束优化问题，因此需要采用有效的优化算法。常见的优化算法包括线性规划、非线性规划、混合整数规划、遗传算法、粒子群优化算法等。这些算法各有优缺点，需要根据具体的调度问题和目标选择合适的算法或算法组合，以求解出最优或近似最优的调度方案。

3.2.3 通信与信息处理技术

智能电网中分布式能源优化调度依赖于高效的通信和信息处理系统。先进的通信技术如光纤通信、无线通信等能够实现电网设备之间的实时数据传输和信息交互，确保调度指令的及时下达和执行；而强大的信息处理技术则可以对海量的电网运行数据进行快速处理和分析，为优化调度提供准确的数据支持。同时，信息安全技术也是保障智能电网稳定运行的重要环节，防止数据泄露和网络攻击等安全问题对调度系统造成影响。

3.3 调度策略

3.3.1 需求侧响应策略

需求侧响应是指通过激励措施和价格信号引导用户合理调整用电行为，实现电力供需的动态平衡。在分布式能源优化调度中，需求侧响应策略可以与分布式能

源的调度相结合，通过调整用户的负荷需求，为分布式能源的接入和消纳创造更有利的条件。例如，在分布式能源出力充足时，鼓励用户增加用电负荷；在分布式能源出力不足时，引导用户减少非必要的用电负荷，从而提高电网的运行效率和分布式能源的利用率。

3.3.2 储能系统协同调度策略

储能系统具有存储和释放电能的能力，可以有效解决分布式能源的间歇性和随机性问题。在优化调度中，将储能系统与分布式能源进行协同调度，根据分布式能源的出力情况和负荷需求，合理控制储能系统的充放电过程。当分布式能源出力大于负荷需求时，储能系统吸收多余电能进行存储；当分布式能源出力不足时，储能系统释放电能进行补充，从而平滑分布式能源的出力波动，提高电网的稳定性和可靠性，同时也有助于提高储能系统的经济性和使用寿命。

3.3.3 多能源互补调度策略

分布式能源包括多种不同类型的能源形式，它们在出力特性上具有一定的互补性。例如，太阳能在白天出力较高，而风能可能在夜间或特定天气条件下出力较好。通过采用多能源互补调度策略，合理配置和协调不同类型分布式能源出力，充分发挥各能源的优势，实现能源的优化互补，提高整个分布式能源系统的稳定性和可靠性，减少对单一能源的依赖，降低分布式能源接入对电网造成的冲击^[4]。

4 智能电网中分布式能源优化调度的发展趋势

4.1 技术创新

随着科技的不断进步，智能电网中分布式能源优化调度将朝着更加智能化、精细化的方向发展。一方面，人工智能、大数据、云计算等新兴技术将不断融入优化调度领域，进一步提高预测精度、优化算法性能和信息处理效率，实现更加精准、高效的调度决策；另一方面，新型储能技术、柔性交流输电技术等电力技术的不断发展和完善，将为分布式能源的优化调度提供更加有力的技术支撑，改善分布式能源的接入和运行特性，提高电网的灵活性和适应性。

4.2 市场机制完善

建立完善的市场机制对于智能电网中分布式能源优化调度至关重要。未来需要进一步完善电力市场交易规则，建立分布式能源参与市场交易的机制和平台，通过合理的电价机制和激励政策，引导分布式能源合理参与电网运行，实现分布式能源的经济价值和环境价值的最大化。同时，要加强对电力市场交易的监管，确保市

场的公平、公正、公开，促进分布式能源与传统能源在市场中的公平竞争，推动智能电网的可持续发展^[5]。

4.3 政策支持

政府的政策支持是智能电网中分布式能源优化调度发展的重要保障。政府应制定相关的政策法规，鼓励分布式能源的开发和应用，加大对智能电网建设和优化调度技术研发的投入力度。同时，要出台有利于分布式能源优化调度的补贴政策、税收优惠政策等，降低分布式能源的接入成本和运行成本，提高分布式能源的市场竞争力。此外，政府还应加强能源战略规划和电网规划，统筹考虑分布式能源的布局和发展，为智能电网中分布式能源优化调度创造良好的政策环境和发展空间。

5 结论

智能电网中分布式能源优化调度是一个复杂而重要的研究课题，对于提高电网运行效率、促进可再生能源发展以及实现能源可持续发展具有重要意义。本文在阐述智能电网与分布式能源相关概念的基础上，深入探讨了分布式能源优化调度的目标、原则、方法以及发展趋势。通过分析可知，实现分布式能源的有效优化调度需要综合考虑多种因素，采用合适的调度架构、关键技术与策略，并且依赖于技术创新、市场机制完善和政策支持等多方面的协同推进。未来，随着相关技术的不断进步和政策环境的逐步优化，智能电网中分布式能源优化调度将迎来更广阔的发展前景，为构建清洁、高效、可靠的能源系统提供有力支撑。

参考文献

- [1] 王建, 张文浩. 智能电网视域下新能源配电网调度优化方法研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (02): 28-29+33.
- [2] 孙伟杰, 陈康. 智能电网技术在分布式发电系统中的应用研究[J]. 张江科技评论, 2024, (12): 60-62.
- [3] 张洋. 智能电网环境下供电所营销与生产协调优化研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(12): 85-87.
- [4] 杨秋丽, 王茵, 张浩. 智能电网中分布式发电单元的优化调度模型研究[J]. 城市建筑空间, 2024, 31(S2): 395-397.
- [5] 李娇, 周政. 智能电网中的分布式能源管理与优化分析[J]. 电子技术, 2024, 53(11): 286-287.

作者简介：石万成，性别：男，民族：汉，出生日期：1989.08.25，籍贯：广西桂林，职务/职称：助理工程师，学历：本科，研究方向：电气工程设计。