

Research on Optimal Configuration and Economic Operation Strategies of Urban Microgrids

Chen Sun Gangling Hu

State Grid Jiangling County Power Supply Company, Jingzhou, Hubei, 434100, China

Abstract

Urban microgrids offer efficient and flexible energy solutions, supporting green city development. This paper analyzes their structure, proposes optimization methods, and explores economic strategies like multi-energy coordination and demand response. Case studies show improved efficiency and economy with lower emissions. Challenges and future trends are discussed as references for green urban transition.

Keywords

urban microgrid; optimal allocation; economic operation; multi-energy coordination; renewable energy; demand response

城市微电网的优化配置与经济运行策略研究

孙晨 胡冈陵

国网江陵县供电公司, 中国·湖北荆州 434100

摘要

城市微电网具有效率高、灵活和环保等优势, 是未来城市能源的重要方向。本文分析了微电网结构, 提出优化配置方法, 并研究了多能源协同和需求响应等经济运行策略。案例表明, 优化后可提升能源效率和经济性, 减少碳排放。最后讨论了微电网的挑战与趋势, 为城市绿色转型提供参考。

关键词

城市微电网; 优化配置; 经济运行; 多能源协同; 可再生能源; 需求响应

1 引言

随着全球城市化进程的加快和能源结构的转型, 城市用能需求持续增长, 对能源系统的安全性、可靠性和环境友好性提出了更高要求。微电网作为集成可再生能源、储能系统与智能控制技术的新型配电系统, 能够有效提升城市能源供给的灵活性和智能化水平, 已成为现代城市能源体系的重要发展方向之一。城市微电网以其分布式布局、就地供能、能量管理高效等特点, 能够有效缓解城市电网压力, 促进清洁能源的大规模接入, 提高能源利用率和运行经济性。目前, 城市微电网的研究主要集中在系统结构设计、能源管理策略、优化调度及经济运行等方面。其中, 优化配置是实现微电网高效经济运行的基础, 包括能源设备的选型、容量评估及系统部署等环节。科学合理的优化配置不仅能满足城市多样化用能需求, 还能够提升微电网的经济效益与可持续发展能力。在此基础上, 经济运行策略的研究针对不同用能场景,

实现多能互补、需求响应与成本最优调度, 进一步增强系统韧性和盈利能力。

随着分布式可再生能源技术的不断成熟和储能、信息通信技术的进步, 城市微电网的建设与运营进入快速发展阶段。本文将围绕城市微电网的优化配置方法与经济运行策略展开讨论, 分析其关键技术难点, 提出相应解决方案, 并结合典型案例进行验证, 为城市微电网的高效建设与可持续运行提供理论参考与实践指导。

2 城市微电网的系统结构及特征分析

微电网的主要组成部分: 城市微电网是一个小型自治的供能网络系统, 能够在并网和离网两种模式下灵活运行。其系统结构通常包括分布式发电单元、储能系统、能源转换装置、负荷终端以及能源管理与控制中心几大核心部分。其中, 分布式发电单元主要由光伏、风电、燃气轮机等清洁能源装置构成, 为城市微电网提供多元化能源供应。储能系统则通过电池、超级电容等方式, 对能源进行时空转移和动态调剂, 保障供能的稳定可靠。能源转换装置如逆变器和变压器等设备, 负责实现交直流电能的互相转换和电压调节。负

【作者简介】孙晨(1984-), 男, 中国湖北监利人, 本科, 工程师, 从事电力工程研究。

荷终端涵盖城市中的住宅、商用、公共建筑及交通设施等用户，需求多样复杂。管理与控制中心负责协调各能源单元的工作，实现能量的智能分配和调度。

系统运行方式及特性：城市微电网具备高度灵活性和智能化的运行特性。根据外部电网情况及用户需求，微电网可选择与主网并网运行或在脱网状态下独立供电。并网时，微电网可参与电力市场交易，实现削峰填谷、需求响应等功能，优化整体运行效益；离网条件下，微电网则可作为应急电源，为关键负荷和重要设施提供持续可靠的供电支持。这种“双模式”运行能力显著提升了城市用能系统的安全性和抗风险能力。此外，微电网能够实现分布式能源与储能、需求侧管理、能效优化等多维互动，提高能源利用效率及可再生能源消纳率，有效推动绿色低碳发展。城市微电网还具备强大的通信与信息集成能力，依托物联网、大数据和人工智能等技术，实现对能源系统的实时监测和智能控制。通过精密的能量管理系统，微电网能够动态分析负荷情况及各种能源的发电特性，执行基于成本、环境及可靠性的综合优化决策，从而最大化经济与环境价值。

城市环境下的特殊要求：在城市环境中，微电网面对着一些独特的挑战和要求。首先，由于城市负荷类型多样，呈现出峰谷差较大、用能时段不均和用户行为复杂的特点，要求微电网能够实现更加精细的负荷预测和分布式能源的动态配置。其次，城市空间资源有限，微电网的能源装置选型和布局需兼顾高密度、有限空间下的安全和效率问题。同时，城市微电网还需依托既有电力基础设施实现无缝集成，减少建设成本和工程复杂度。另一个关键要求是高水平的可靠性和安全性。城市微电网常服务于重要负荷如医院、公共安全及交通等部门，对供电稳定性和能量质量提出了极高要求。为此，微电网需具备快速故障检测、隔离与恢复能力，以及强大的多能源互补、储能备用等功能。此外，城市居民对环境友好和绿色低碳有更高期望，因此微电网系统在规划和运行过程中需优先考虑可再生能源应用，提升整体碳减排效益。

综上所述，城市微电网系统结构以多元化、分布式能源为核心，结合智能控制与信息集成技术，在满足城市多样复杂负荷的同时，提升系统的灵活性、可靠性与可持续性。未来，随着技术进步和城市低碳转型加速，城市微电网将承担更加重要的能源管理和调度角色。对其系统结构及运行特征的深入研究，为后续优化配置与经济运行策略的制定提供必不可少的理论基础与支撑。

3 微电网优化配置方法

负荷预测与能源供给分析：在城市微电网的优化配置过程中，准确的负荷预测是基础工作之一。由于城市负荷种类繁多，包括居民、商业、工业及公共负荷，各类用能需求受季节、气候、节假日以及城市人口流动等多重因素影响，

具有显著的时空波动特性。若负荷预测不准确，将直接影响后续能源设备的容量配置与系统投资回报。因此，基于历史负荷数据、气象信息和社会经济行为等多维数据源，应用多元回归、灰色系统理论、神经网络等智能预测方法，能够大幅提升负荷预测的精度和适应性。

对于能源供给分析，需要深入评估城市微电网中太阳能、风能、生物质能等可再生能源的本地资源禀赋及其出力特性。可通过分析年平均日照时数、风力资源分布及各类能源的技术成熟度，结合城市空间布局情况，确定合理的分布式电源选型及部署方案。此外，综合考虑市政燃气、应急柴油机等常规能源，构建多能互补的供能体系，以保障供能的连续性及抗风险能力。与此同时，储能系统作为调节可再生能源波动、负荷平衡和备电的重要手段，其规模、类型和布局亦须根据负荷峰谷特性、分布式电源波动幅度、用能安全等级等因子进行多维分析与优化。

能源设备选型与容量优化：在城市微电网的配置设计中，需根据负荷预测结果与能源资源分析，科学选型各类分布式能源设备与储能系统，并合理确定其容量。光伏、风电等分布式电源因其输出具有间歇性、不稳定性，系统在选型与容量分配过程中，需兼顾能源产出与负荷需求的时空匹配，以及经济性和运行安全性要求。容量优化通常基于最优投资回报或系统全生命周期成本最小为目标。针对不同场景，采用粒子群优化、遗传算法、蚁群算法等智能优化算法，建立考虑设备投资、运行维护、替换与折旧等全生命周期成本的数学优化模型。实际过程中，可运用蒙特卡洛模拟等不确定性分析手段，模拟各类负荷与可再生能源出力的随机波动，确保优化结果的鲁棒性与适应性。同时，在储能配置方面，需权衡其投资成本与系统柔性提升带来的经济、环境效益，优化确定储能的充放电策略及备用容量。

传统单一目标优化已难以满足城市微电网的多样化发展需求。因此，常需引入包括经济指标、环境效益、能源供应可靠性等多元目标。

多目标优化模型构建：针对城市微电网的复杂系统结构与多重运行目标，需构建多目标、多约束的优化配置模型。常见的优化目标主要包括系统总投资和运维成本最小化、CO₂减排最大化、能源供给可靠性最大化、可再生能源消纳率最大化等。在多目标优化模型中，各目标之间往往存在相互制约或冲突。例如，提高可再生能源比例可能导致系统总成本增加；提高供能可靠性则需提升备用容量，相应提升投资。因此，通过引入层次分析法、模糊多目标决策等方法，合理分配各目标权重，实现多目标之间的动态均衡。模型构建过程中，还需要纳入多种工程和运行约束。工程约束主要涉及设备的最大最小容量、城市空间布局、并网接入条件等；运行约束包含电力平衡、能量流约束、故障恢复等。为提升优化效率，常采用分布式协同优化、分层分布优化等先进方法，一方面分解复杂的大规模系统问题，降低计算难度，另

一方面实现多微电网单元间的信息交互与资源共享。此外,在实际运行中,可通过动态滚动优化,将预测数据与实时运行信息结合,实时修正优化结果,提高系统的适应性和灵活性。近年来,越来越多研究将人工智能、机器学习等新兴技术引入微电网优化配置模型。一方面利用深度学习等方法提升负荷与能源产出预测精度,降低模型不确定性影响;另一方面,通过群体智能算法、混合优化方法实现更高效的多目标协同优化。未来,可以结合数字孪生技术与虚拟仿真平台,构建高可信的城市微电网优化配置决策支持系统,为工程实施提供实时、动态、智能的技术支撑。

综上所述,城市微电网的优化配置在负荷预测、能源供给分析、设备选型与容量分配、多目标模型构建等方面均需采用智能化、协同化、动态化的创新方法。优质的优化配置方案不仅为后续经济运行策略的落地奠定坚实基础,也将全面推动城市能源转型升级和绿色低碳可持续发展目标的实现。

4 微电网经济运行策略研究

能源管理体系与运行模式:城市微电网的经济运行策略核心在于实现多能源高效协调与灵活调度,以最优成本满足城市负荷需求,同时提升系统整体经济性和运行安全。微电网的能源管理体系结合分布式能源、储能装置与主网互动,建立了完善的能量流调控机制,可根据市场电价、负荷变化和分布式能源出力情况,动态调整各能源设备的运行方式。在并网模式下,微电网通过参与电力市场交易,利用分时电价机制和峰谷套利,实现用电成本的最优化。例如,在电价低谷时段优先贮存电能或多用市电,高峰时段则以分布式发电和储能放电减轻用电压力,降低外部购电费用;同时,可将富余新能源与储能电量售回主网,增加系统收益。在孤网或应急模式下,微电网优先保障关键负荷,合理调度各能源单元,依靠储能系统削峰填谷、应对波动,确保能源供应的稳定性和可靠性。

多能互补与需求响应策略:城市微电网集成了多种能源形式,如何实现多能互补是经济运行策略的关键。针对城市负荷的时空分布和能源资源的差异性,微电网可采用优化

调度算法(如混合整数规划、动态规划等),根据实时负荷和可再生能源出力动态分配资源,实现能源利用的最大效率。例如,白天负荷高峰时利用光伏、风电及储能联合供能,夜间则充分发挥储能和市政燃气等传统能源的作用。此外,通过智能能量管理系统,能够实时收集用户负荷信息和能源出力,及时调整调度策略,实现多能系统的互补和协同。需求响应作为微电网经济运行的重要手段,通过激励用户根据电价和能耗信息主动调整用电行为,有助于削减高峰负荷、平衡系统运行。常见需求响应方式包括直接负荷控制、价格型需求响应(如分时电价或实时电价)以及基于区块链或物联网的负荷聚合平台。尤其在城市环境下,需求响应可结合智慧建筑、现代交通等应用场景,大幅提升能源利用率与系统灵活性。

运行优化模型及算法应用:微电网经济运行优化通常采用多目标决策模型,以最小化运行成本、最大化可再生能源消纳比例及保证供能可靠性为主要目标。模型涵盖设备运行约束、市场价格波动、电力平衡、安全储备等各种因素。针对实际应用,可采用遗传算法、粒子群优化、混合策略等智能优化方法,动态调整系统运行方案,实现全年或特定时期的经济效益最大化。同时,随着大数据分析和人工智能技术的发展,微电网可将历史运行数据、实时市场信息和用户行为模式整合进优化模型,通过机器学习方法预测负荷与电价变化,智能推送最优调度方案。

5 结语

城市微电网优化配置与经济运行研究,既需技术手段创新,也需制度环境保障。理论与实践结合,将助力微电网在未来城市能源体系中发挥更为重要的作用,实现绿色、智能、高效的的城市能源转型目标。

参考文献

- [1] 微电网边缘智能控制综述及展望[J]. 许梓荣;刘友波;廖红兵;唐志远;高红均;刘俊勇.浙江电力,2025(10)
- [2] 电网光通信系统自主协同方法研究[D]. 陈亚鹏.华北电力大学(北京),2024
- [3] 弱电网下低压电网谐波高精度检测研究[J]. 杨雨飞;朱泰鹏;周昉昉;陈玥.国外电子测量技术,2025(08)