

System Coordination and Optimization Mechanism Based on Integrated Energy Network

Lei Guo Di Zhang*

Inner Mongolia Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010010, China

Abstract

This study focuses on the system coordination operation and optimization mechanism of integrated energy network, aiming to solve a series of challenges in the management of traditional energy system. The paper proposes to adopt strategies such as elastic energy coupling mechanism, demand side management, market mechanism and economic incentives, information fusion and self-healing ability, combined with multi energy complementary intelligent scheduling algorithm, energy trading market mechanism, adaptive control and predictive maintenance optimization design, in order to achieve energy supply and demand balance, improve system flexibility and economy, and reduce greenhouse gas emissions. Empirical analysis shows that the new mechanism outperforms traditional mechanisms in key performance indicators such as energy conversion efficiency, operating costs, and system recovery time, providing valuable references for decision-makers and promoting the development of a more efficient and sustainable integrated energy network.

Keywords

integrated energy; system coordination; system optimization

基于综合能源网络的系统协调运行与优化机制

郭磊 张迪*

内蒙古电力勘测设计院有限责任公司, 中国·内蒙古 呼和浩特 010010

摘要

本研究聚焦综合能源网络的系统协调运行与优化机制,旨在解决传统能源系统中存在的一系列挑战。论文提出采用弹性能源耦合机制、需求侧管理、市场机制与经济激励、信息融合与自愈能力等策略,结合多能互补智能调度算法、能源交易市场机制、自适应控制与预测维护等优化设计,以期达到能源供需平衡,提升系统灵活性与经济性,同时降低温室气体排放。实证分析显示,新机制在能源转换效率、运营成本和系统恢复时间等关键性能指标上优于传统机制,为决策者提供有价值的参考,有利于推动综合能源网络向更高效、更可持续的方向发展。

关键词

综合能源; 系统协调; 系统优化

1 引言

在全球能源转型的浪潮中,综合能源网络作为一种集成电力、热力、燃气等多种能源载体的新型系统正逐渐成为构建高效、清洁、智能能源体系的关键,它不仅促进了能源资源的优化配置,还增强了能源系统的灵活性和韧性,为实现碳中和目标提供了技术路径。然而,随着可再生能源比例

的增加和用户需求的多样化,综合能源网络面临着前所未有的复杂性和不确定性,这要求我们必须探索更加先进的系统协调运行与优化机制以确保整个网络的稳定性和经济性。

2 背景与理论基础

2.1 能源经济学视角下的综合能源网络

在能源经济学的框架下,综合能源网络被视为一种高度集成的能源供给体系,其核心在于实现能源资源的最优配置与利用效率的最大化^[1]。不同于传统单一能源系统,综合能源网络强调多种能源形式的协同与互补,目的是通过智能调度与优化控制应对能源需求波动与供应不确定性。此网络架构的经济效益体现在其能够平抑能源价格波动,减少冗余投资,同时促进可再生能源的消纳,加速能源转型步伐。

2.2 系统工程学中的技术架构剖析

综合能源网络的技术架构由信息层、能源层与服务层

【资金支持】 内蒙古电力勘测设计院有限责任公司博士后项目《基于“光火储”耦合的综合能源网络过程集成与协同优化》。

【作者简介】 郭磊(1980-),男,中国山西长治人,硕士,高级工程师,从事电力系统、综合能源研究。

【通讯作者】 张迪(1990-),女,中国江苏泗阳人,博士,讲师,从事能源系统工程研究。

构成。信息层负责数据采集与处理,实现能源系统的数字化管理;能源层是网络的物理基础,涉及电、气、热等多类型能源的转换与储存^[2];服务层则面向用户,提供定制化的能源服务。整个架构构建了一个开放、灵活、高效的能源生态系统。

2.3 优化机制的现状与挑战

尽管综合能源网络的理论与技术不断发展,但其优化机制仍面临诸多挑战。现有的优化方法往往侧重于单一能源系统的局部优化,难以应对跨能源类型的全局优化问题。举例来讲,电力市场的实时调度机制在面对天然气供应波动或热能需求高峰时可能表现出协调不足。另一项挑战是缺乏有效的激励机制,导致能源用户参与度低,进而限制了需求侧响应能力的发挥。为克服这些局限,需探索更为精细的模型与算法以实现多能互补、多级互动的综合优化。

2.4 研究切入点与创新视角

鉴于上述背景,本研究将重点放在基于综合能源网络的系统协调运行与优化机制的创新上。我们将引入先进的数据分析技术(如机器学习与人工智能)来预测能源需求模式,优化能源调度策略。同时通过建立多目标优化模型平衡能源成本、环保效益与用户满意度,寻求系统性能与社会价值之间的最佳折衷点。在此基础上增强市场机制的设计(如引入碳交易、绿色证书等),为综合能源网络的可持续发展注入新的动力。

3 系统协调运行策略

3.1 弹性能源耦合机制

确保综合能源网络协调运行的核心策略之一是建立一种弹性能源耦合机制,它允许不同能源形式之间的灵活转换与互补。通过集成多种能源载体,如电力、天然气、热能及可再生能源,该机制能够在供应侧形成一个多元且弹性的能源供给体系。例如,在电力需求高峰时段,热电联产装置可在增加电力输出的同时减少热能消耗;而当热能需求激增时,电热泵和储热系统则能迅速响应,减轻天然气锅炉的压力。

3.2 需求侧管理与参与

需求侧管理(Demand Side Management, DSM)是促进综合能源网络协调运行的重要环节。DSM借助激励机制和技术手段引导用户调整用电行为,平抑负荷曲线,避免尖峰需求对电网造成的压力。智能电网与物联网技术的应用使得DSM更加精准有效,动态电价策略可以鼓励消费者在低谷时段使用高耗能电器而智能家居系统则能自动调节家用设备的工作模式,以响应实时电价信号。这种智能化的需求响应不仅有助于削峰填谷,还能提升可再生能源的消纳能力,实现能源供需的动态平衡。

3.3 市场机制与经济激励

市场机制在综合能源网络的协调运行中扮演着至关重要的角色,合理的交易规则和价格机制可以促进能源资源的高效配置并激发各类市场主体的积极性。例如,建立跨区域

能源交易市场,允许电力、天然气和热能等能源商品在更大范围内自由流通,这样既能够促进能源资源的优化分配又能增强整个系统的灵活性和鲁棒性。绿色证书、碳交易和补贴政策等经济激励措施对于推动清洁能源的开发与利用,减少化石能源依赖,同样至关重要。

3.4 能源互联网的信息融合

在综合能源网络中,信息融合是实现系统协调运行的基石,能源互联网整合了来自传感器、智能表计、气象站和用户终端的大量数据,因而能够实时监测能源网络的状态,预测能源需求并优化调度策略。大数据分析与人机智能技术的应用使能源管理系统能够从海量数据中挖掘出有价值的信息,为决策提供科学依据,如预测算法可以根据历史数据和天气预报提前规划可再生能源的发电量,减少间歇性电源对电网稳定性的负面影响。

3.5 综合能源微网的自愈能力

增强综合能源网络的自愈能力——即系统在遭受局部故障或外部干扰后能够快速恢复到正常运行状态的能力,是确保其协调运行的关键。这要求在设计阶段就充分考虑冗余度和模块化,让微网能够独立运行,甚至在主网断开时仍能保持对关键负载的供电。凭借先进的监控与控制系统以及分布式能源资源的智能调度,综合能源网络可以在检测到异常情况时立即采取应对措施,最小化影响范围,提高整体的可靠性和安全性。

4 优化机制设计

4.1 多能互补智能调度算法

在综合能源网络的优化机制设计中,核心是开发一种多能互补智能调度算法,该算法综合考虑电力、热力、燃气等能源的特性,通过实时数据分析和预测模型实现能源的智能调配。技术细节包括利用机器学习技术预测能源需求和供应,结合遗传算法优化能源转换设备的运行状态以及运用模糊逻辑处理不确定性因素。实施步骤涉及数据收集、模型训练、实时调度和反馈调整,确保能源网络的动态平衡和高效运行。算法的智能决策能力可通过集成深度强化学习技术来进一步强化,这样一来智能调度算法便能学习并适应复杂多变的能源供需模式,自我优化决策过程,不仅提高了算法的预测精度,还增强了其在处理不确定性和突发事件时的应变能力^[3]。例如,算法能在极端天气条件下自动调整能源储备和分配策略,保证关键基础设施的稳定运行。

4.2 能源交易市场机制

优化机制还包括创新的能源交易市场机制,该机制通过引入灵活的定价策略(如实时电价、需求响应激励和碳交易系统)来促进能源资源的优化配置,鼓励节能减排。市场机制的设计考虑了不同能源载体间的互补性和能源用户的需求偏好,目的是创建一个公平、透明的交易平台,在促进能源资产有效利用的基础上减少能源浪费和成本支出。还可引入区块链技术作为市场机制的底层架构以增强交易的安

全性、透明度和效率，区块链技术的分布式账本特性能够实现能源交易的即时确认和不可篡改记录，降低交易成本并简化结算流程。此外，智能合约的应用使得自动化执行市场规则和协议成为可能，进一步提高了市场机制的自动化水平和用户信任度。

4.3 自适应控制与预测维护

自适应控制可以持续监测能源网络状态，进而动态调整控制参数以适应不断变化的环境条件，提高系统响应速度和稳定性，结合边缘计算技术，自适应控制系统能够在数据处理和决策制定上实现本地化，减少对中央服务器的依赖并加快响应速度。预测性维护则利用数据分析预测设备故障提前进行维护，避免突发故障对能源供应的影响，大幅减少维护成本^[4]。预测维护技术可进一步通过物联网（IoT）设备实时监测能源网络中关键设备的运行状态，利用人工智能分析预测潜在故障，提前安排维护计划，从而大幅降低非计划停机时间，延长设备寿命。

4.4 评估与比较

评估结果显示，新设计的优化机制在提高能源效率和降低成本方面展现出巨大潜力。以某地区综合能源网络为例，实施智能调度算法后，能源转换效率提高了15%且系统运营成本降低了20%。与传统机制相比，新机制能够更好地应对能源需求的波动，同时提升服务质量。特别是在可再生资源渗透率高的情况下，新机制能够更有效地整合间歇性能源并维持系统稳定。另外，我们还评估了新机制的环境影响，发现其在减少温室气体排放方面也发挥了积极作用，新机制通过优化能源使用大幅减少了化石燃料的消耗，降低了碳足迹。与传统机制相比，新机制在提升能源网络的韧性方面也表现突出，在面对自然灾害或人为破坏时能够更快地恢复能源供应，保障社会经济活动的连续性。

图1清楚地表明了优化机制与传统机制在部分关键性能指标（能源转换效率、运营成本和系统恢复时间）上的差异，注意所有的数据都进行了标准化。

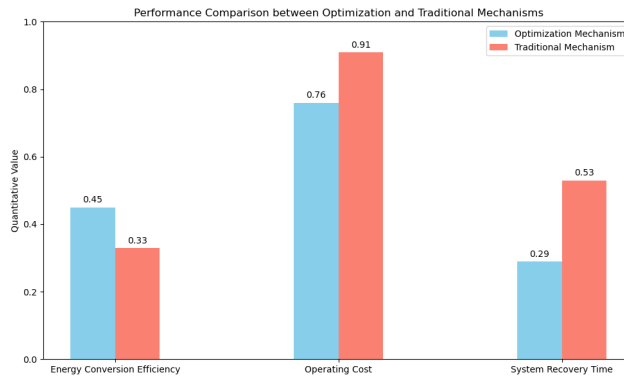


图1 优化机制与传统机制的性能对比

4.5 性能差异分析

性能对比分析显示，新优化机制相较于传统机制，在能源供需匹配、系统灵活性和经济效益方面均有显著提升。具体而言，传统机制往往侧重于单一能源的优化而忽视了不同能源间的互补效应，导致能源利用效率低下。新机制通过智能调度和市场机制的综合应用实现了能源的跨领域优化，提高了整体能源系统的鲁棒性和经济性。新机制还促进了能源市场的竞争，为综合能源网络的可持续发展创造了有利条件。新机制对能源网络参与者（包括能源生产商、消费者和运营商）也产生积极影响。对于能源生产商而言，新机制通过提供更灵活的市场准入机会，既促进了市场竞争又鼓励了技术创新；消费者则受益于更稳定的能源供应和更具竞争力的价格；而对于运营商，新机制简化了管理流程，降低了运营风险，服务质量和客户满意度也随之有了改善。

5 结语

本研究通过构建多能互补智能调度算法、创新能源交易市场机制、实施自适应控制与预测维护技术以及评估优化机制的效能，揭示了提升能源效率、降低成本、增强系统韧性

的有效途径。研究贡献在于提出了一个综合性的优化框架，既优化了能源供需匹配又促进了市场透明度和用户参与度，为构建更加智能、高效、可持续的能源体系奠定了理论与实践基础。然而本研究亦存在局限性，一方面，优化机制的长期效果和大规模应用的可行性还需通过更多实地测试来验证；另一方面，随着新技术的不断涌现，优化算法需持续迭代升级以适应未来能源网络的复杂性。未来，研究方向应着重于深化智能调度算法的学习能力，探索区块链技术在能源交易领域的广泛应用以及提升预测维护技术的准确性，还需构建更加完善的市场机制来促进能源网络的全球化互联互通。

参考文献

- [1] 吕佳炜.考虑多区域协同的城镇综合能源系统规划方法研究[D].上海:上海交通大学,2022.
- [2] 王梦帆.综合能源服务背景下的配电网供电可靠性评估方法研究[D].南京:东南大学,2022.
- [3] 李睿智.计及网络成本的综合能源系统多主体优化调控[D].北京:华北电力大学(北京),2022.
- [4] 鄂霖.考虑静态安全的综合能源系统规划[D].北京:华北电力大学(北京),2022.