



虚拟电厂参与 能量市场调度 新思路

虚拟电厂参与能量市场调度新思路

一、虚拟电厂概述

1.1 虚拟电厂的定义与构成

虚拟电厂（Virtual Power Plant, VPP）并非传统意义上的实体发电厂，而是一种通过先进的信息通信技术和智能控制手段，将分散分布于不同地理位置、具有不同发电特性（如分布式光伏、风电、微型燃气轮机等）以及灵活负荷资源（如工业用户可中断负荷、商业建筑的空调和照明系统等）有机整合起来的智能电网资源聚合体。从构成要素来看，分布式电源是虚拟电厂的能量供应端，它们凭借自身的可再生能源发电特性，如太阳能光伏发电的清洁、无噪声、分布广泛，风力发电的可持续性等，为虚拟电厂提供了多样化的电力来源。储能系统则在虚拟电厂中扮演着能量缓冲和调节的关键角色，例如电池储能系统可以在电能过剩时储存多余电量，在电能短缺或需求高峰时释电能，有效平抑功率波动，提高电力系统的稳定性和可靠性。而灵活负荷资源通过智能控制策略，能够根据电力市场价格信号和系统运行状态，调整自身的用电功率，实现负荷的灵活调节，如在电价低谷时段增加用电量，在电价高峰时段减少用电量，从而达到移峰填谷的效果，优化电力资源配置。

1.2 虚拟电厂的运行模式与功能

虚拟电厂具有多种运行模式，以适应不同的电力市场环境和系统运行需求。在自主运行模式下，虚拟电厂基于内部预设的智能控制算法和优化策略，根据分布式电源的发电预测、储能系统的充放电状态以及灵活负荷的实时需求，自主进行电力电量的平衡调度，实现内部资源的最优配置，同时保证向外部电网提供稳定可靠的电力供应。在市场参与模式中，虚拟电厂作为一个整体，积极参与电力市场的各类交易，如能量市场、辅助服务市场等。在能量市场中，虚拟电厂根据市场价格信号和自身的发电成本及负荷需求，制定合理的发电计划和报价策略，通过出售多余电量或购买短缺电量来获取经济效益；在辅助服务市场中，虚拟电厂凭借其快速的调节能力和灵活的资源配置特性，提供诸如调频、调峰、备用等辅助服务，保障电力系统的安全稳定运行，并获得相应的经济补偿。

虚拟电厂的功能丰富多样，其核心功能之一是实现分布式能源的有效整合与协同管理。通过对分布式电源、储能系统和灵活负荷的统一协调控制，虚拟电厂能够克服分布式能源发电的间歇性、波动性等问题，提高可再生能源在电力系统中的渗透率，促进能源结构的优化升级。同时，虚拟电厂能够为电力系统提供灵活的调节能力，快速响应系统负荷变化和电网调度指令，有效缓解电网阻塞，提升电力系统的运行效率和可靠性。此外，虚拟电厂在用户侧还可以通过为用户签订智能用电协议，为用户提供定制化的能源服务解决方案，帮助用户降低用电成本，提高能源利用效率，实现用户与电网之间的双向互动与共赢。

1.3 虚拟电厂在电力系统中的作用与意义

在当今电力系统向清洁化、智能化、分布式转型的背景下，虚拟电厂具有重要的作用与深远的意义。从能源转型角度来看，虚拟电厂为大规模分布式可再生能源的接入提供了可行的技术途径，有助于打破可再生能源发电发展的瓶颈，推动能源结构从传统化石能源向清洁能源的加速转变。它能够充分挖掘分布式能源的潜力，提高能源利用效率，减少能源浪费，实现能源的可持续发展。在电力市场运营方面，虚拟电厂的参与增加了市场主体的多样性，引入了新的竞争机制，有助于提高电力市场的活力和效率。其灵活的资源调节能力和多样化的服务供给，能够丰富电力市场的产品种类，

满足不同市场参与者的需求，促进电力市场的健康发展。从电力系统运行角度而言，虚拟电厂作为一种新型的电网资源聚合形式，能够增强电力系统的灵活性、稳定性和可靠性。在应对突发故障或极端天气等情况下，虚拟电厂可以迅速调整自身运行状态，为电网提供紧急支持，保障电力供应的安全稳定，降低系统停电风险，提高电力系统的韧性。

二、能量市场调度概述

2.1 能量市场的基本概念与特点

能量市场是电力市场体系中的核心组成部分，其主要功能是实现电能在不同市场参与者之间的有效交易和优化配置。在能量市场中，发电企业作为电能的供应方，根据自身的发电成本、机组运行特性以及对市场价格的预期，向市场提交发电报价；而电力用户作为电能的需求方，根据自身的用电需求和对电价的敏感度，提出用电需求和价格响应。市场运营机构则通过特定的市场交易机制，如集中竞价、双边协商等，根据供需平衡原则确定市场出清价格和交易量，从而实现电能的优化分配。

能量市场具有一些显著的特点。首先，电能作为一种特殊的商品，其生产、传输和消费必须实时平衡，这就要求能量市场具有高度的实时性和动态性。任何时刻的发电与用电不平衡都可能导致电网频率波动、电压不稳定等问题，影响电力系统的安全稳定运行。其次，能量市场的价格波动性较大，这主要受到多种因素的影响，如能源原材料价格波动（如煤炭、天然气价格变化）、电力供需关系的实时变化（如不同季节、不同时段用电需求差异）、可再生能源发电的间歇性（如风力发电和光伏发电受天气条件影响）以及电网阻塞等因素。此外，能量市场的交易规模庞大，涉及众多的发电企业、售电公司、电力用户等市场参与者，交易关系复杂，需要完善的市场规则和监管机制来确保市场的公平、公正和有序运行。

2.2 传统能量市场调度方法与局限性

传统的能量市场调度方法主要基于集中式优化调度模型。在这种模式下，电网调度中心收集所有发电企业和用户的相关信息，包括机组发电特性、发电成本函数、用户用电需求曲线等，然后通过求解大规模的优化问题，以系统运行成本最小化或社会福利最大化为目标，确定各发电企业的发电计划和各用户的用电量分配。这种传统调度方法在过去的电力系统运行中发挥了重要作用，但随着电力系统规模的不断扩大、分布式能源的大量接入以及市场环境的日益复杂，

其局限性逐渐显现。

一方面，传统调度方法对信息的准确性和完整性要求极高，需要实时获取全网所有参与者的详细信息，这在实际操作中面临诸多困难，尤其是对于分布式电源和小型用户而言，其信息采集和传输成本较高，且信息准确性难以保证。另一方面，传统调度方法的集中计算和决策过程复杂，计算量大，求解时间长，难以适应电力市场快速变化的需求。在面对突发情况或实时性要求较高的调节任务时，传统调度方法可能无法及时做出有效的响应。此外，传统调度方法在处理分布式能源的间歇性和不确定性方面存在不足，往往无法充分发挥分布式能源的潜力，甚至可能因分布式能源的不可预测性对系统运行稳定性造成一定影响。

2.3 虚拟电厂参与能量市场调度的优势

虚拟电厂参与能量市场调度具有诸多显著优势。首先，虚拟电厂能够通过内部的智能控制和优化算法，对分布式电源、储能系统和灵活负荷进行实时协调管理，有效平抑分布式能源发电的间歇性和波动性，提高发电预测的准确性，从而为能量市场提供更加稳定可靠的电力供应。这有助于减少因可再生能源发电不确定性对能量市场调度带来的风险，增强电力系统的稳定性。其次，虚拟电厂具有快速的响应能力，能够根据能量市场价格信号和系统运行状态的变化，迅速调整内部资源的运行方式和输出功率。例如，在电价高峰时段，虚拟电厂可以增加分布式电源的发电功率，释放储能系统中

的电能，并削减部分可中断负荷，向市场提供更多电量，获取更高的经济效益；而在电价低谷时段，则可以降低发电功率，储存多余电能，为后续用电高峰或系统紧急情况做好准备。这种灵活的响应能力有助于提高能量市场的调节效率，促进电力资源的优化配置。此外，虚拟电厂的参与可以增加能量市场的供应弹性，丰富市场的资源供给形式，为市场参与者提供更多的选择和竞争机会，有助于推动能量市场的创新和发展，提高市场整体的运行效率和经济效益。

三、虚拟电厂参与能量市场调度新思路

3.1 基于分布式智能优化的调度策略

传统的集中式优化调度方法在面对虚拟电厂复杂的内部结构和多样化的资源特性时，面临着计算复杂度高、信息传递延迟等问题。基于分布式智能优化的调度策略则为解决这些问题提供了一种创新思路。该策略利用分布式算法，如多智能体系统 (Multi - Agent System, MAS)，将虚拟电厂内部的各个分布式电源、储能系统和灵活负荷视为具有自主决策能力的智能体。每个智能体根据自身的运行状态、约束条件以及与其他智能体之间的交互信息，通过局部优化算法来确定自身的最优运行策略。例如，分布式电源智能体根据实时的光照强度、风速等环境信息以及储能系统的电量状态和市场价格信号，优化自身的发电功率输出；储能系统智能体根据自身的充放电特性、寿命要求以及系统的功率平衡需求，决定充放电功率；灵活负荷智能体根据用户的舒适度需求、电价信号和系统激励措施，调整自身的用电功率。

这些智能体之间通过信息交互和协作机制，共同实现虚拟电厂整体的优化调度目标。例如，通过协商机制确定分布式电源和储能系统之间的功率分配，以满足负荷需求并最大化经济效益；通过合作机制实现灵活负荷的协同调节，提高负荷响应的灵活性和有效性。与传统集中式优化方法相比，分布式智能优化策略具有更好的扩展性和适应性，能够更好地应对虚拟电厂内部资源的动态变化和不确定性，同时降低了信息传输和计算的负担，提高了调度决策的实时性和准确性。

3.2 考虑用户侧灵活性的互动调度模式

在传统的能量市场调度中，用户往往处于被动接受电力供应和价格的地位，其用电行为缺乏灵活性和主动性。考虑用户侧灵活性的互动调度模式则强调充分挖掘用户侧的潜力，将用户作为虚拟电厂的重要组成部分，实现用户与虚拟电厂之间的双向互动和协同优化。这种调度模式通过建立用户与虚拟电厂之间的实时通信和互动平台，向用户提供实时的电价信息、系统运行状态信息以及激励措施，引导用户根据自身需求和利益做出灵活的用电决策。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/997030031063010002>