

虚拟电厂聚合资源在电力现货市场中的价格响应特性分析

王刚

国能重庆能源销售有限公司，重庆市，400061；

摘要：本文聚焦虚拟电厂聚合资源在电力现货市场中的价格响应特性，通过理论分析与实证研究相结合的方法，深入探讨虚拟电厂聚合资源参与现货市场交易的运作模式、影响价格响应的关键因素以及响应特性的具体表现。研究发现，虚拟电厂聚合资源在现货市场中展现出独特的价格响应规律，其响应特性受资源类型、市场环境、运营策略等多因素综合影响。本文研究成果为虚拟电厂在电力现货市场中的高效运营及市场稳定发展提供理论支持与实践参考。

关键词：虚拟电厂；聚合资源；电力现货市场；价格响应特性

DOI：10.69979/3029-2700.25.10.023

引言

伴随能源转型和电力市场化改革的深层推动，分布式电源、储能装置、可控负荷等大量分散的电力资源连接电网，对电力系统的运作和管理引入新的挑战与机遇。虚拟电厂 VirtualPowerPlant，VPP 作为一种通过先进的通信技术和控制策略，将分散的分布式能源、储能系统和可控负荷等资源实施融合改进的新型电力系统运作模式，可以达成资源的集中调配和协作运作，提升电力系统的灵活性和可靠性。电力现货市场作为电力市场体系的重要组成部分，对电力资源的即时改进配置供应了平台。虚拟电厂聚合资源参与电力现货市场买卖，虚拟电厂聚合资源价格反映特点明显影响虚拟电厂经济收益，确保电力现货市场稳定运行和资源合理分配产生重要影响。研究虚拟电厂聚合资源如何影响电力现货市场价格反映特点对理论和现实非常重要。

1 虚拟电厂聚合资源参与电力现货市场的运作模式

1.1 资源聚合与管理

虚拟电厂经由融合分布式电源例如太阳能光伏、风力发电等等、储能系统例如锂电池储能、抽水蓄能等等以及可控负荷例如工业可中断负荷、商业楼宇空调负荷等等，构成拥有特定规模和调节能力的资源聚合体。于资源聚合过程中，虚拟电厂需对于各类资源的技术参数、运行特性、出力预测等实施详尽分析和管理，构建资源数据库，以达成对于资源的精确调度和改良控制。

1.2 市场交易参与

虚拟电厂凭借市场主体的身份加入电力现货市场交易，借助报价策略把聚合资源的可调节容量和价格信

息呈交至市场交易平台。于现货市场交易中，虚拟电厂依据市场价格信号和自身资源状况，机动调节资源的发电或用电计划，来达成经济效益最大化。在市场电价偏高时，虚拟电厂能提升分布式电源的发电出力，并且降低可控负荷的用电。在市场电价偏低时，虚拟电厂能运用储能系统实施充电，等到电价升高时随后放电加入市场交易。

1.3 协调控制与优化运行

虚拟电厂运用先进的通信技术和智能调控算法，对聚合资源实施即时监控和调和调控。借助构建优化模型，整合考量市场价格、资源运作成本、电网安全约束等因素，拟定最优的资源调度方案，达成聚合资源的协作运作和改良分配。在电网发生峰谷差明显的情况下，虚拟电厂能够调和储能系统和可控负荷，在高峰时段放出储能并减少可控负荷电力消耗，在低谷时段采用低价电能对储能系统蓄电，因此提升电网的稳定性和运作效率。

2 虚拟电厂聚合资源价格响应特性的影响因素

2.1 资源类型与特性

差异类型的资源它们的价反应特性具有明显差异。分布式电源受到自然条件如光照、风速制约较多，其出力拥有断续性和起伏性，于现货市场中的价反应弹性比较较弱。太阳能光伏于夜间不能发电，风力发电受到风速变动制约，不易依据市场价格即时调节发电出力。并且储能系统和可控负荷具备较好的可控性，可以迅速反应市场价格变动。储能系统能够于价格低峰之际蓄电、价格高点之际释电，完成电能的时间空间转移。可控负荷能够借助调控用电时间和用电功率，于非干扰用户正常生产生活的条件之下，加入电力市场调控，因而于价

反应方面展现更加机动。

2.2 市场环境与政策

电力现货市场的市场结构、交易规则、价格形成机制这些市场环境因素直接决定虚拟电厂聚合资源对价格变化的回应特点发挥重要作用。竞争非常激烈的市场环境里，虚拟电厂想要争取更大市场份额，就会积极应对市场价格波动，不断优化自己的报价策略。市场交易规则和价格形成机制清楚地决定虚拟电厂的收益方式和面临的风险大小。市场采用实时电价机制时，虚拟电厂需要非常精确地预测市场价格和资源出力，快速调整自己的运行策略。市场设置了价格上限和下限等政策限制时，也会限制虚拟电厂对价格变化的回应行为。政府的能源政策和补贴政策会直接影响虚拟电厂聚合资源的运营成本和收益期望，进而影响虚拟电厂对价格变化的回应特点。

2.3 运营策略与技术水平

虚拟电厂运行方案涵盖清楚报价方案、资产分配方案、风险管理方案等。方案拟定和执行会影响集结资产效益展现效果。合理报价方案能助力虚拟电厂参与市场竞争赢得优势，提升资产使用效率和经济回报。规范资产分配方案能达成集结资产最佳分配，提升市场效益变化显著表现。虚拟电厂技术水平涵盖通信技术、智能控制技术和预测技术等，发挥重要作用。优秀技术能确保信息顺畅传输，智能控制技术能达成集结资产合理分配，预测技术能助力虚拟电厂尽早筹划资产运行方案，提升效益展现准确度。

3 虚拟电厂聚合资源在电力现货市场中的价格响应特性分析

3.1 价格响应的及时性

虚拟电厂汇集资源在电力现货交易中拥有某种价值反应实时性。储能系统和可控负荷可以在快速对交易价值波动产生应对。当交易电价骤然上涨时，储能系统可在几分钟内开启放电程序，向电网传输电能。可控负荷可借助智能控制系统快速调节用电设备的运作状态，降低用电负荷。而分布式电源因为其设备开启和调节要求一定时间，价值反应的实时性比较稍逊。但借助尖端的预判技术和改良调度策略，虚拟电厂可预先对分布式电源的运作实施计划，在某种程度上提升其价值反应的实时性。

3.2 价格响应的灵活性

虚拟电厂聚合资源的价值应对拥有较优的弹性。借

助融合差异种类的资源，虚拟电厂能够依据市场价值起伏和电网运作需要，机动调节资源的供电和耗电搭配。于价值起伏明显的时间，虚拟电厂能整合运用储能系统的储放电、可控负荷的调配以及分布式电源的输出调节，达成资源的实时改良分配，用以应对市场价值变动。虚拟电厂亦可依照本身的运作目的和隐患倾向，选取各异的价值应对方案，例如进取型方案谋求高额回报然而遭遇偏高风险，稳健型方案强调稳固性但回报较为稍低。

3.3 价格响应的非线性

虚拟电厂把各种资源合并在一起后，价格反应的特点变得不规则。不同资源的反应曲线各有不同，资源之间会相互作用，联系非常密切。储能系统利用充放电行为来调整电网的功率平衡，从而改变各种资源的运行状态和价格反应能力。市场价格变化对虚拟电厂合并资源的作用大小并不是固定不变的。市场价格在某个范围内时，虚拟电厂会选择调整一部分资源。市场价格变化超过这个范围时，虚拟电厂会启用更广泛的资源调度方法，造成价格反应的幅度和方式出现明显变化。价格反应的不规则特点让虚拟电厂分析和预测价格变得更加复杂困难。

3.4 价格响应的滞后性

虽然虚拟电厂聚合资源拥有某种价格响应实时性，然而因为信息传输、决策制定和设备调节等环节具有时间延迟，价格响应依然具有某种延迟性。信息自市场传输至虚拟电厂，然后通过数据分析、决策制定，最终至资源调节执行，要求某种时间。部分资源如大型工业可中断负荷的开启和终止要求某种时间和程序，亦将引起价格响应的延迟。这种延迟性或许令虚拟电厂在市场交易中错过最优时机，波及其经济效益和市场竞争力。

4 实证研究

4.1 研究对象与数据来源

选择某地区加入电力现货市场交易的虚拟电厂成为研究对象，该虚拟电厂集成了分布式光伏发电、锂电池储能系统和商业楼宇可控负荷等资源。数据来自电力现货市场交易平台、虚拟电厂运行监控系统以及气象监测部门等。采集该虚拟电厂于一定时间段内的市场交易数据包含交易价格、交易量等、资源运行数据如分布式电源出力、储能系统充放电状态、可控负荷用电量等以及气象数据如光照强度、气温等，以实证分析供给基础。

4.2 模型建立与分析方法

打造一个虚拟电厂多种资源的定价反应系统，使用

经济学统计和时间数据分析的办法，研究虚拟电厂多种资源面对价格变动时的反应特性和运行方式。通过回归分析，弄清市场价格波动与虚拟电厂资源发电量或用电量的联系和影响原因，研究价格反应的表现形式和敏感度。使用分类分析和规则挖掘的系统化手段，研究虚拟电厂资源在不同市场条件下调度策略的变化规律和改进方法，探索价格反应的适应能力和复杂特性。通过时间数据预测模型，预测市场价格和资源发电量的变化趋势及未来走向，评估价格反应延迟对虚拟电厂运营的实际影响。

4.3 结果分析

实证研究结果显示，该虚拟电厂聚合资源在电力现货市场中展现出明显的价格反应特性。储能系统和可控负荷对市场价格变化的反应相当快速，在市场电价上涨时，储能系统放电量和可控负荷削减量明显增多，且反应时间在 15 分钟以内。分布式电源由于受到光照条件等因素约束，价格反应比较稍慢，但借助改进调度策略，其反应时间也有所减少。在价格反应灵活性方面，虚拟电厂可以依据市场价格起伏，机动调节资源组合，达成资源的改进配置。揭示市场价格变化与虚拟电厂资源发电/用电量之间具有非直线关系，且价格反应具有一定的滞后性，平均滞后时间大约 30 分钟。

5 结论与建议

5.1 研究结论

分析虚拟电厂聚合资源参与电力现货市场时价格响应特点，总结出相关结论，虚拟电厂聚合资源参与电力现货市场展现独特价格响应特点，价格响应速度快慢、适应能力强弱、变化不规律、反应延迟情况受到资源种类、市场环境、运营策略等多种因素明显影响。不同种类资源价格响应表现各不相同，储能系统和可控负荷响应速度很快且适应能力强，分布式电源响应速度比较慢。市场环境和政策对虚拟电厂价格响应行为起到重要指导和限制作用。制定合理运营策略、采用先进技术水平能够有效促进提升虚拟电厂聚合资源价格响应能力。

5.2 建议

希望使虚拟电厂的资源于电力现货市场中更加迅速反应价格波动、运作更加高效，推荐执行一些改进措施，优化资源分配方式，改进虚拟电厂资源的聚合结构，提升储能系统和弹性资源的比例，强化虚拟电厂系统的

价格反应能力。巩固分布式电源的技术更新和管理工作，提高分布式电源输出电力的稳定性和可调节性。完善市场机制，政府和市场监管部门需进一步改进电力现货市场的交易规则和价格形成机制，减少市场障碍，提高市场透明度和公平性。建立合适的价格奖励机制，激励虚拟电厂加入市场调控，改进市场资源分配效率。

改进技术实力，增加虚拟电厂相关技术的开发资金投入，提高通信技术、智能控制技术、预测技术的水平，保证整合资源的精确检测和调整功能效果，减少价格反应的时间范围，降低反应延迟的程度大小。提高运营管理能力，虚拟电厂运营主体需要提高运营管理能力，设计严谨科学的报价方案和资源调度计划，搭建完善的风管理体系，增强应对市场价格变化和风险的能力水平。强化与用户的沟通合作，促进可控负荷的参与程度和调整效果能力。能源技术发展与电力市场改革持续推进进行，虚拟电厂在电力系统中的作用地位将变得重要显著。未来分析可以全面探索虚拟电厂如何融合有效资源，考察不同市场和技术环境下的价格变化具体特点，依靠技术创新与市场规则结合，制定适当的明确方案，显著增强虚拟电厂的市场竞争能力，持续完善电力系统的支持效果。

参考文献

- [1] 伊书鑫,胡健,路尧,等.电力现货市场中多虚拟电厂交易策略[J].控制工程,2022(009):029.
- [2] 韩雅萱.新型电力系统下虚拟电厂的发展模式及运营策略研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [3] 赵晋泉,杨婷,姚建国,等.电力现货市场下输配协同传输阻塞管理[J].电力系统自动化,2020, 44(7): 8. DOI: 10.7500/AEPS20190409001.
- [4] 杨娜,潘东,陈煜,等.一种电力现货市场环境下的分布式虚拟电厂控制方法及其系统:202310982161[P][2025-04-29].
- [5] 杨娜,朱刘柱,王宝,等.一种虚拟电厂参与电力现货市场出清优化方法:202411549996[P][2025-04-9].
- [6] 马江海,赵锐,白静波,等.一种基于电力现货市场的虚拟电厂能源管理方法:CN202211542346.5[P].CN16245294A[2025-04-29].
- [7] 杨康.电力现货市场环境下虚拟电厂的优化调度策略[D].华南理工大学,2023.