

面向用户侧的虚拟电厂参与电力现货市场交易机制设计

汪 朗

云南华电昆明发电有限公司 云南昆明 650000

摘 要：随着新能源渗透率提升与电力市场化改革推进，用户侧虚拟电厂（VPP）作为整合分布式能源、储能及可调负荷的关键载体，参与电力现货市场成为必然趋势。本文分析用户侧VPP参与现货市场的现状与问题，从交易流程、价格机制、风险防控三方面设计交易机制，提出技术、政策、监管层面的保障措施，旨在为提升VPP市场参与度、优化电力资源配置提供参考，助力电力系统向清洁低碳、高效灵活转型。

关键词：用户侧虚拟电厂；电力现货市场；交易机制；风险防控；分布式能源

引言

在“双碳”目标与电力市场化改革深入推进的背景下，用户侧分布式能源、储能及可调负荷规模持续增长，虚拟电厂（VPP）凭借资源聚合能力，成为衔接用户侧资源与电力市场的重要纽带。然而，当前用户侧VPP参与电力现货市场面临交易流程不清晰、价格机制不匹配、风险防控体系不完善等问题，制约其市场价值发挥。因此，设计科学合理的交易机制，对推动用户侧VPP有效参与现货市场、提升电力系统灵活性与经济性具有重要现实意义。

一、用户侧虚拟电厂参与电力现货市场的现状与问题

1. 参与现状

当前国内电力现货市场试点地区，已逐步允许用户侧VPP以聚合商代理模式参与交易，整合的资源包括居民分布式光伏、工商业储能及商业综合体可调负荷等。部分试点地区已有多家VPP聚合商获得交易资格，参与日前、日内现货交易，初步实现用户侧资源从“被动消纳”向“主动参与市场”的转变。但整体来看，用户侧VPP参与规模较小，仅占试点地区现货市场交易总量的一小部分，交易频次集中在日间高峰时段，且多以单一资源类型参与，缺乏多资源协同优化，尚未形成规模化、常态化的市场参与格局。

2. 核心问题

用户侧VPP参与现货市场面临三重核心问题。一是交易流程存在壁垒，需对接电网企业、交易中心、用户

等多主体，各主体信息系统不互通、数据标准不统一，导致交易申报重复提交材料，结算周期长，严重影响效率。二是价格机制适配性不足，现货市场价格日内波动幅度大，而用户侧资源调节成本差异显著，现有价格机制未考虑VPP的整合与调节成本，部分VPP因收益无法覆盖成本退出市场。三是用户协调难度大，部分居民与中小企业用户对市场机制认知不足，担心影响用电可靠性，配合度低，导致VPP聚合的资源容量不稳定，影响交易申报准确性。

3. 机制设计必要性

随着用户侧资源规模的快速扩张，预计到2026年，国内用户侧分布式能源装机容量将突破10亿千瓦，储能与可调负荷潜力超5亿千瓦，若缺乏完善的交易机制，这些资源将无法有效参与现货市场，不仅造成巨大的资源浪费，还可能因新能源出力波动与用户负荷峰谷差扩大，加剧电力系统供需失衡（如午间新能源出力过剩、晚间用电高峰电力短缺）。科学的交易机制能够明确VPP在市场中的主体地位与权责边界，规范各参与方的行为，打破信息壁垒，提升交易效率；同时，通过合理的价格机制保障VPP的可持续收益，激发其参与市场的积极性，引导用户侧资源根据市场价格信号灵活调节（如价格高峰时段减少用电、增加储能放电，价格低谷时段增加充电与分布式能源出力），实现电力资源在时间与空间上的优化配置。此外，完善的交易机制还能后续用户侧VPP参与辅助服务市场（如调频、备用）奠定基础，推动电力市场从“单一电能量市场”向“电能量+辅助服务”多元市场体系发展，助力电力市场化改革目标的实现。

二、面向用户侧虚拟电厂的电力现货市场交易机制设计

1. 交易流程设计

遵循“协同高效、透明规范”原则，构建全链条交易流程机制，涵盖用户侧资源聚合、交易准备、市场申报、安全校核、市场出清、执行监控与资金结算七大环节。资源聚合阶段，VPP聚合商通过智能终端采集用户侧资源数据，建立资源台账确保数据可追溯，同时与用户签订服务协议明确调度范围、收益分配比例及用电保障条款。交易准备阶段，VPP借助大数据算法开展负荷与价格预测，结合资源情况制定交易策略并同步至交易中心平台。市场申报与校核环节，VPP按规定时段提交分时段交易申报单，交易中心联合电网企业完成安全校核后纳入出清范围。市场出清与执行阶段，交易中心完成出清并生成结果，VPP通过智能调度平台控制资源执行并上传数据。资金结算阶段，交易中心计算VPP收益与补偿并完成资金划拨，VPP按协议向用户分配收益，形成闭环管理。

2. 价格机制设计

构建“基础电价+分类调节补偿+价格上下限”三层价格机制，平衡市场效率与VPP收益。基础电价以现货市场出清价格为基准，按VPP参与的日前、日内交易时段分别确定，保障其与常规市场主体享有平等基础收益。分类调节补偿机制依据用户侧资源调节能力与成本差异划分等级，对响应速度快、调节精度高的资源设置较高补偿标准，对响应较慢、精度一般的资源设置相对较低补偿，补偿资金来源于辅助服务基金与电价附加，确保来源稳定。价格上下限机制用于防范极端价格风险，设置最高与最低电价区间，当价格触及上限时，给予VPP额外保供补偿以鼓励电力供应；触及下限时，提供成本补贴避免亏损。同时建立季度价格评估机制，动态调整补偿标准与价格区间，保障机制灵活性。

3. 风险防控机制设计

从市场、运营、用户三方面构建风险防控机制，保障VPP参与现货市场的安全性与稳定性。市场风险防控上，建立价格预警系统，交易中心通过数据分析预测价格波动，按波动幅度推送不同等级预警；设立风险准备金制度，VPP按交易额比例缴纳准备金，价格异常波动导致亏损时可申请补偿。运营风险防控方面，搭建实时监控平台，整合多方数据对VPP资源运行状态与交易执行进度进行动态监测，发现故障或偏差时自动告警并

生成应急预案；建立违约处理机制，明确VPP与电网企业未按要求执行交易时的责任与赔偿规则。用户风险控制层面，制定用电保障协议，确保VPP调度不影响用户基本用电，明确停电赔偿条款；开展用户教育与培训，通过多种渠道推送信息，提升用户认知度与配合度，降低协调风险。

三、机制实施的保障措施

1. 技术保障

构建“感知—通信—计算—应用”一体化的技术支撑体系，为交易机制实施提供坚实技术基础。在感知层，加快推广智能计量设备（如具备实时采集功能的智能电表）、物联网传感器（如监测储能状态的温度、电压传感器）与边缘计算终端，实现用户侧资源数据（出力、负荷、运行状态）的毫秒级采集与本地预处理，数据采集精度提升至99.9%以上，为交易申报提供准确数据支撑。在通信层，依托5G专网与光纤通信网络，搭建VPP与电力交易中心、电网企业、用户之间的高速通信通道，通信带宽不低于100Mbps，时延控制在50毫秒以内，确保交易指令、数据传输的实时性与稳定性；同时采用量子加密技术对传输数据进行加密处理，防止数据泄露与篡改。在计算层，建设区域级电力大数据中心，部署人工智能算法（如基于Transformer模型的负荷预测算法、基于强化学习的交易策略优化算法），实现负荷预测准确率提升至95%以上、价格预测准确率提升至90%以上，为VPP制定交易策略、电网企业开展安全校核提供强大算力支持；此外，引入区块链技术搭建分布式交易存证平台，将交易申报、出清结果、结算数据等关键信息上链存证，实现数据不可篡改、可追溯，解决多主体间的信任问题。在应用层，开发VPP智能交易平台，集成资源管理、交易申报、调度执行、收益结算、风险预警等功能模块，支持PC端与移动端访问，用户侧VPP聚合商可通过平台完成全流程操作，电网企业与交易中心可通过平台实时监控交易进展，实现“一站式”交易管理；同时开发用户服务APP，为居民与企业用户提供收益查询、用电安排通知、故障报修等服务，提升用户体验。

2. 政策保障

完善政策法规体系，破除机制实施的政策障碍，为用户侧VPP参与现货市场提供制度支持。首先，明确市场主体地位，由国家能源局出台《用户侧虚拟电厂参与电力市场管理办法》，将用户侧VPP正式纳入电力现货市场交易主体目录，明确其与常规发电企业、售电公司平

等的市场权利（如参与交易的资格、获得辅助服务收益的权利），禁止设置歧视性条款；同时简化VPP市场准入流程，将准入审批时间从目前的30天缩短至15天，对聚合资源容量超过1万千瓦的VPP实行“备案制”，无需审批即可参与市场。其次，加大财政与税收支持力度，中央与地方财政设立VPP发展专项基金，对VPP聚合商的技术研发（如智能调度系统开发）、设备采购（如储能、传感器）给予30%–50%的补贴，单个项目补贴上限不超过2000万元；对VPP参与现货市场获得的收益，实行“三免三减半”税收优惠政策（前三年免征企业所得税，后三年按12.5%税率征收），降低VPP运营成本。再次，建立跨部门协调机制，成立由国家能源局牵头，发改委、工信部、财政部、地方政府参与的VPP市场协调工作组，每月召开协调会议，解决机制实施过程中的跨部门问题（如电网企业与交易中心的职责划分、补贴资金发放流程）；同时建立争议解决机制，设立专门的仲裁委员会，对VPP与其他市场主体之间的纠纷进行快速仲裁，仲裁结果具有法律效力，保障各方合法权益。最后，推动区域协同试点，选择新能源渗透率高、用户侧资源丰富的地区（如江苏、四川）开展机制试点，试点期限为2年，试点期间允许探索差异化政策（如更高的调节补偿标准），积累经验后在全国范围内推广。

3. 监管保障

构建“政府监管+行业自律+社会监督”三位一体的监管体系，确保交易机制规范有序实施。在政府监管层面，明确国家能源局及其派出机构为主要监管主体，制定《用户侧VPP市场监管细则》，明确监管内容（交易申报真实性、价格执行情况、用户权益保障）、监管方式（日常检查、专项督查、大数据监测）与处罚标准（如虚假申报按交易金额的10%–20%罚款，情节严重的取消市场资格）；同时建立“双随机、一公开”监管机制，每月随机抽取20%的VPP进行检查，检查结果通过政府官网公开，接受社会监督。在行业自律层面，成立全国性的VPP行业协会，制定《用户侧VPP行业自律公约》，明确VPP聚合商的行为规范（如不得虚假宣传、不得损害用户利益）、服务标准（如交易结算周期、用户投诉响应时间）与职业道德准则；协会定期组织行业培训

与交流互动，提升VPP聚合商的专业能力与合规意识；此外，建立行业信用评价体系，根据VPP的交易合规性、用户满意度、风险防控能力等指标，将其分为A、B、C、D四个信用等级，信用等级与市场准入、补贴获取挂钩（如A级VPP可优先获得专项基金补贴，D级VPP暂停市场参与资格）。在社会监督层面，建立信息公开制度，电力交易中心每月通过官网公布VPP参与现货市场的交易数据（申报电量、出清价格、实际交易量）、结算数据（收益金额、补偿金额），VPP聚合商每月向用户公开资源调度情况与收益分配明细，确保交易全过程透明；同时设立社会监督热线与线上投诉平台，接受用户与公众对VPP违规行为的举报，对查实的举报给予举报人奖励（奖励金额为罚款金额的10%，最高不超过1万元），形成全社会共同监督的良好氛围。

结论

本文围绕用户侧虚拟电厂参与电力现货市场交易机制展开研究，分析得出当前VPP参与市场存在流程壁垒、价格适配性不足等问题，进而设计涵盖交易流程、价格机制、风险防控的完整交易机制，并提出技术、政策、监管层面的保障措施。该机制能够有效规范VPP交易行为，保障其市场收益，激发用户侧资源潜力。未来可进一步结合不同地区电力市场特点优化机制细节，推动用户侧VPP在电力现货市场中发挥更大作用，助力电力系统绿色低碳转型。

参考文献

- [1] 袁野. 计及不确定性的虚拟电厂参与电力现货市场竞价研究[D]. 广西大学, 2025.
- [2] 饶继文. 并网型微电网参与电力现货市场交易的运行模式研究[D]. 广东工业大学, 2024.
- [3] 韩雅莹. 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.
- [4] 胡朝阳. 电力现货市场环境下虚拟电厂发展的冷思考[J]. 中国电力企业管理, 2024, (28): 59–60.
- [5] 刘勇, 唐正荣, 葛亮. 非现货环境下虚拟电厂参与电力市场的探索[J]. 大众用电, 2024, 39(08): 5–7.