

调频辅助服务与现货电能量联合出清耦合分析

张国义

国家电投集团贵州金元股份有限公司, 贵州 贵阳 550081

DOI:10.61369/ER.2025070013

摘 要 : 电力市场改革推进到系统性集成阶段, 调频辅助服务与现货电能量市场协同运作, 是维持新型电力系统安全稳定、提高清洁能源利用效率的关键, 两方联合出清的耦合, 关键是实现电能量供给和系统调节能力的协同优化, 解决单一市场运行中的资源浪费、价格信号失真等问题。本文以耦合内涵为起点, 拆解联合出清耦合的核心逻辑和现实意义, 梳理当前耦合运行中机制、主体、技术层面的突出问题, 结合真实市场运转情况给出精准优化方案, 摒弃空泛言说, 紧盯贴合实际的实践难题与破解路径, 为两者高效协同运行提供可行方案, 促进电力市场高质量发展。

关 键 词 : 调频辅助服务; 现货电能量市场; 联合出清; 耦合分析; 电力市场协同

Coupled Analysis of Joint Clearing for Frequency Regulation Ancillary Services and Spot Electricity Energy

Zhang Guoyi

Guizhou Jinyuan Co., Ltd., State Power Investment Corporation Limited, Guiyang, Guizhou 550081

Abstract : As the power market reform advances to the stage of systemic integration, the coordinated operation of frequency regulation ancillary services and the spot electricity market is crucial for maintaining the security and stability of the new power system and improving the utilization efficiency of clean energy. The coupling of joint clearing between the two parties hinges on achieving the synergistic optimization of electricity supply and system regulation capabilities, addressing issues such as resource waste and price signal distortion in single-market operations. Starting from the connotation of coupling, this paper dissects the core logic and practical significance of joint clearing coupling, identifies prominent problems in current coupling operations across mechanisms, entities, and technical aspects, and proposes precise optimization solutions based on real market operations. By avoiding vague discussions and focusing on practical challenges and solutions, it provides feasible strategies for efficient coordinated operation between the two parties, promoting the high-quality development of the power market.

Keywords : frequency regulation ancillary services; spot electricity market; joint clearing; coupling analysis; power market coordination

引言

伴随着新型电力系统的发展, 系统中常规机组的装机占比将不断被削减, 系统中惯量、一次调频等资源逐渐开始变得稀缺, 系统的安全稳定运行面临挑战。基于构网型逆变器的多元资源主体可以通过预留一定的有功功率容量提供频率支撑的辅助服务, 成为系统惯量和一次调频资源构成的重要组成部分。我国电力市场正逐步推进中长期、现货、辅助服务市场的一体化运营, 保障电网频率稳定, 核心支撑是调频辅助服务, 与现货电能量市场的对接越发紧密, 调频辅助服务的作用是平抑电网实时频率波动, 维持电力供应安全; 现货电能量市场统筹优化电能量资源配置, 呈现电力实时供需的价值, 两者好比电力系统的“左右手”, 单独出清模式已经无法匹配新型电力系统的运行需求^[1]。二者多采用拆分出清模式, 引发资源配置效率偏低、市场主体激励不够、成本传导不顺等问题, 拖慢电力市场改革深化步伐, 深挖调频辅助服务和现货电能量联合出清的关联逻辑, 破解耦合运行的实际问题, 实现两者配合优化, 是落实电力市场改革政策的硬性规定, 也是维持电力系统安全高效运行的实际需求, 拥有重要实践意义。

一、调频辅助服务与现货电能量联合出清耦合内涵及核心逻辑

（一）耦合内涵

调频辅助服务和现货电能量联合出清的结合，绝非简单的市场叠加，改为打通2个市场的运行梗阻，把调频服务的调节需求和电能量的供需平衡纳入统一出清体系，构建“安全约束、资源共享、价格联动、成本共担”的协同运行模式，组织发电企业参与电能量竞价的同步阶段，兼顾调频服务能力的申报，市场出清要兼顾用户的电能量需求，也要保障支撑电网频率稳定的调频资源，兼顾展现电能量价值和调频服务价值，杜绝“重电量、轻调节”或“重调节、轻效益”的失衡问题出现。这类耦合关系是资源优化配置的内在需求，维持电力系统安全稳定运行，绝不能脱离电能量的持续供给，也离不开调频服务的实时维持，二者互为依托、互为约束：缺乏充足电能量供给，调频服务就没了作用支撑；无可靠的调频服务，保障不了电能量供给稳定。联合出清互配，要扭转这种“各自为战”的格局，凝聚两个市场力量，最大化利用电力资源^[2]。

（二）耦合核心逻辑

调频辅助服务与现货电能量联合出清的耦合核心逻辑，打破两大市场独立出清的阻隔，将电力系统安全稳定运行作为第一准则，把资源优化配置、整体运行成本最小化当核心目标，实现电能量供应和调频服务协同联动、动态平衡，解决新能源大规模接入引发的波动与不确定性难题。重点为搭建“需求联动、资源共享、价格协同、约束统一”的一体化出清体系，把调频辅助服务的容量保障、响应性能要求和现货电能量的实时供需平衡需求深度结合，同步调整市场主体的出力分配和价格形成，防止单靠单个市场出清引发的资源错配、成本上升或系统安全风险。联合出清开展期，不再把电能量交易和调频服务看作割裂环节，而是把调频资源的技术约束、服务成本和电能量的时空价值、供需波动放进统一优化模型，依托一次出清计算，同步确认电能量中标出力、调频辅助服务中标容量及对应价格，让两大市场出清结果互相适配、互相支撑。

调度机构实施出清作业，将综合兼顾现货电能量市场的实时负荷预测、新能源出力场景，加上调频辅助服务市场的频率稳定需求，兼顾各类市场主体技术特性，比如储能具备快速响应优势、火电机组拥有容量支撑能力，动态调整电能量供应与调频服务的资源占比，维持电能量供需平衡的同时，预留足量高效调频容量处置系统频率偏差。价格机制协同是耦合逻辑的核心支撑，出清阶段会全面考量调频资源参与电能量市场的机会成本，把调整后的调频容量报价、里程报价和机会成本整合，作为排序依据，让价格信号真切反映电能量的时空稀缺性，也能凸显调频服务的性能价值，推动市场主体自主调整参与策略。借助“日前—日内—实时”多周期联动实现出清，实时修正预测误差，统筹不同时间尺度的资源分配，统筹系统安全可靠、市场公平高效与主体合理盈利，实现电力系统安全稳定、资源高效利用、市场健康有序运行的多项目标。

二、调频辅助服务与现货电能量联合出清耦合的现实意义

依据电力市场当前运行实际，两者联合出清产生的耦合作用具备清晰实用价值，贴近大众需求且契合市场实际，集中表现为三个方面，一是强化电力系统运行的安全性和灵活性，解决新能源大规模接入引发的频率波动问题，风光类清洁能源装机占比稳步上升，出力的随机波动特性会干扰电网频率稳定，联合出清耦合可达成调频资源和电能量供给的实时匹配，迅速抑制频率波动，维持电网安全运行，一并推进清洁能源高效消纳，节约各类资源。二是强化电力资源配置效率，压缩系统整体运营开支，采用单独出清模式，可能出现“电能量供给过剩但调频资源不足”或“调频资源冗余但电能量供给短缺”的矛盾，促成资源浪费，联合出清耦合可统筹调配两类资源，优先组织具备调频能力的发电企业参与出清，兼顾调频需求，同步降低电力供给的非正当竞争，减少电力系统全部运行成本。三是优化市场激励机制，激活各类市场主体的参与动力，联合出清耦合划定调频服务的价值体现路径，让发电企业做调频服务能拿到合理收益，尤其要推动储能、虚拟电厂等新型市场主体参与调频服务，终结传统发电企业垄断辅助服务市场的状态，依托成本传导机制，让用户认识电力的实在价值，引导用户优化用电举措，促进需求响应与虚拟电厂落地，增加电力市场参与主体数量^[4]。

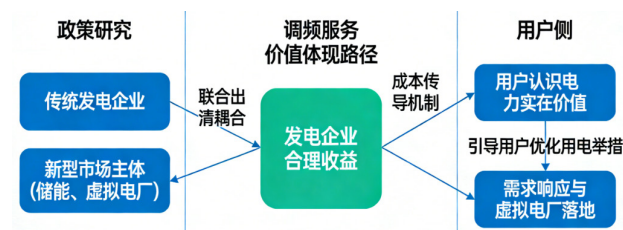


图1 电力市场激励机制优化与参与主体激活示意图

三、调频辅助服务与现货电能量联合出清耦合存在的突出问题

（一）耦合机制不完善，市场衔接不畅

部分地区现货市场刚起步，调频辅助服务和现货电能量市场的联合出清机制尚未健全，存在清晰的衔接缺口，出清规则不统一，部分地区仍采用“分开出清、事后衔接”的运作模式，未将调频服务需求纳入现货电能量出清的统一优化流程，造成出清结果脱钩，不能实现系统整体效益的最大化。成本传导路径受阻，调频服务成本分摊占比设置不当，部分地区仍靠发电企业主要承担调频成本，用户参与成本分摊的占比过低，违反“谁受益、谁承担”这一原则，既加大了发电企业的经营压力，也无法指导用户优化用电方式^[5]。

（二）市场主体权责模糊，参与积极性不足

各类市场主体需协同参与耦合运行，但目前部分市场主体的权责边界模糊，削弱参与积极态度，从发电企业立场看，部分企业没有调频服务能力，或参与调频服务的收益抵不上额外成本，

这使得它更聚焦电能量竞价，忽略调频服务申报；针对储能、虚拟电厂这类新型主体，由于欠缺明确的准入标准和收益保障机制，对参与联合出清积极性不高，售电企业及用户参与积极性不高，多数用户仍被动接纳电价，没能借助优化用电行为参与调频服务成本分摊，也无法获取电价优惠，没法让耦合运行的主体协同效应充分释放^[6]。

（三）技术支撑不足，难以适配耦合运行需求

联合出清耦合对电力市场技术支持系统标准要求更高，要达成电能量供需、调频服务能力、电网安全约束等各类数据的实时采集、分析与共享，再加上出清模型的精准优化，但目前部分地区电力市场技术支持系统存在缺陷，存在数据采集滞后、信息共享受阻等问题，无法精准划分新能源与储能的协同运行边界，也无法快速应对联合出清中的各类复杂约束条件，部分地区出清模型未充分优化，没有顾及调频服务的实时性和灵活性要求，造成出清结果不合规范，拖慢耦合运行效率，降低耦合运行可靠性。

四、调频辅助服务与现货电能量联合出清耦合优化路径

（一）完善耦合机制，强化市场衔接

聚焦机制不完善问题，重点是建立“统一出清、联动定价、合理分摊”的耦合机制，一是统一清退规则，把调频服务需求放进现货电能量出清统一优化模型，明晰出清的目标、约束条件和流程，实现两者同步出清、协同优化，杜绝出清结果脱节，二是优化价格联动机制，兼顾调频服务的成本与价值，合理敲定调频服务价格与现货电能量价格的联动关系，以合理方式将调频服务成本转嫁给用户，推行“谁受益、谁承担”的规矩，兼顾各类主体的利益，三是优化结算机制，明确联合出清后的收益分配与成本分摊方案，保障发电企业、新型主体等拿到合理收益，唤起他们的参与动力^[7]。

（二）明确主体权责，激发参与活力

聚焦主体协同欠缺的问题，关键是厘清各类市场主体的权责范围，优化激励机制，一是明确发电企业需承担的责任与可获收益，有调频能力的发电企业必须申报调频服务能力，给积极参与调频服务、表现突出的企业加大收益分配比例，处罚未按要求提

供调频服务的考核不合格企业，迫使它提升调频服务水准^[8]。二是优化新型主体准入与激励机制，确定储能、虚拟电厂等新型主体参与联合出清的准入标准、权责边界与收益方式，下调参与准入门槛，调动参与积极性，三是引导用户和售电企业参与，依托分时电价、优惠政策等举措，引导用户改进用电习惯，主动参与调频服务成本分担，与此同时明确售电企业在成本传导中的职责，推动它辅助用户加入市场互动。

（三）强化技术支撑，提升耦合运行效率

应对技术支撑不足的状况，首要任务是优化电力市场技术支持系统，优化退出清算模型，一是升级技术支持系统，实时采集、分析并共享电能量供需、调频服务能力、电网安全约束等各类数据，增强数据处理的及时性和准确性，精准界定新能源和储能的协同运行边界，为联合出清供应可靠数据支持^[9]。二是升级联合出清模型，全面兼顾调频服务的实时性、灵活性要求，结合电网运行的真实场景，健全模型约束条件与优化目标，优化出清结果的合理性和科学性，推进技术研发和推广工作，学习先进地区的实操经验，把大数据、人工智能等技术用在联合出清上，拉高耦合运行智能层级，削减运维开支^[10]。

五、结论

调频辅助服务和现货电能量联合出清的结合，是深化电力市场改革的必然选择，也是维持新型电力系统安全高效运行的关键办法，两者耦合不是简单的市场叠加，转而依靠出清目标、价格机制、主体行为的协同配合，做到电力资源最优配置，实现系统运行效益最大，同步解决单一市场运行的各类痛点问题。两者耦合运作仍存在机制有漏洞、主体权责模糊、技术支撑薄弱等关键问题，拖慢耦合效应充分显现，利用健全耦合机制、划定主体权责、夯实技术支撑等靶向调整办法，可精准攻克上述问题，促进两者高效协同运转，电力市场改革不断深化，要不断优化联合出清耦合模式，依据各地电力市场实际情形，依据本地实际调整相关规则和机制，调动各类市场主体的参与积极性，推动耦合运行切实落地生效，既要保障电网安全稳定运行，还要推动清洁能源高效运用，助力电力市场高质量发展，为新型电力系统建设筑牢坚实后盾。

参考文献

[1] 邹鹏, 崔校瑞, 何希然, 荆朝霞, 张超, 程雪婷, 孙田, 叶文圣. 山西电力备用辅助服务市场机制设计与实践 [J]. 电网技术, 2024, 48 (06): 2490-2501.
[2] 潘峰, 陈建梅, 董宜琛, 陈程. 基于市场适应性及综合成本的大水电辅助服务交易策略研究 [J]. 水力发电, 2024, 50 (02): 85-89+107.
[3] 段晓宇, 张鸿浩. 山西省电力现货模式下火电机组参与调频辅助服务市场分析 [J]. 电器工业, 2023, (03): 72-75+87.
[4] 李国庆, 闫克非, 范高锋, 边竟, 于国康, 余中平. 储能参与现货电能量-调频辅助服务市场的交易决策研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50 (17): 45-54.
[5] 袁岑颀, 戴敏敏, 周旭, 周建伟, 蒋宇轩, 马宁. 电力市场环境下水电机组调频性能提升研究 [J]. 浙江电力, 2022, 41 (06): 84-91.
[6] 王蕾. 火电企业应对电力现货市场的策略研究 [J]. 电力学报, 2021, 36 (06): 557-563.
[7] 肖云鹏, 张兰, 张轩, 刘起兴. 包含独立储能的现货电能量与调频辅助服务市场出清协调机制 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40 (S1): 167-180.
[8] 内蒙古电力市场完成首次现货电能量市场与调频辅助服务市场联合调电试运行 [J]. 内蒙古电力技术, 2020, 38 (03): 79.
[9] 黄冬生, 吴引航, 吕翔, 姜楠. 多能源参与的电力主辅市场联合优化模型 [J]. 电力需求侧管理, 2019, 21 (06): 30-34+43.
[10] 刘永奇, 邹鹏, 燕争上, 李鸣镛, 赵兴泉, 陈启鑫. 山西电力调频市场机制设计与运营实践 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43 (16): 175-182.