可调节负荷资源参与电力辅助服务市场规则分析与思考

周 竞[1],耿 建[1],唐 律[2],赵一琰[2],张 思[2]
(1. 中国电力科学研究院有限公司(南京),江苏 南京 210003;2. 国网浙江省电力有限公司,浙江 杭州 310007)

摘要:我国的可调节负荷资源参与电力辅助服务市场正在快速推进,市场交易规则的出台是试点应用、落地推广的重要导向。立足于我国可调节负荷资源参与电力辅助服务市场规则的发展情况,从交易规则的编制思路和交易品种、市场主体定义、准入条件和技术要求、市场交易组织和竞价、典型交易模式的组织流程、资金来源和分摊等方面进行对比分析,总结大规模可调节负荷参与电力辅助服务市场面临的挑战和关键技术,为后续省份编制和出台相关规则提供参考和借鉴。

关键词:电力市场;可调节负荷;辅助服务市场;交易规则;交易模式
中图分类号:TM 714;F 123.9 **文献标志码**:A DOI:10.16081/j.epae.202205043

0 引言

随着负荷调控技术的不断成熟,以电动汽车平台、虚拟电厂、负荷聚合商等为代表的新型主体逐渐涌现,集群调节潜力愈发显著[1-3]。传统的"源随荷动"模式逐渐向"源荷互动协同"模式转变[4-5],具备调节能力的可调节负荷资源可作为稳定的电网调节资源来促进电网功率平衡并提供辅助服务[6-7]。国家电网公司的"双碳"行动方案明确提出挖掘需求侧的响应潜力,构建不少于电网最大负荷5%的可调节负荷资源库,这将在电力辅助服务市场中发挥重要的作用。然而,政策支持和市场建设是激活可调节负荷资源的内在动力,亟需通过市场化手段引导和激励其主动参与电网调控,为电网安全、经济、高效运行提供常态化服务。

国外需求响应资源参与电力市场的发展较成熟,多个国家允许需求响应资源参与容量市场、现货电能量市场、辅助服务市场等,且在辅助服务市场中主要提供调频、备用、灵活爬坡等服务,相关发展经验具有一定的借鉴意义[8-10]。但由于我国电源结构和电力市场发展阶段的不同,发展路径也有自身特色,近年来我国电力辅助服务市场化推进取得了显著的成效。从跨省跨区电力辅助服务补偿机制的建设,到逐步推进区域/省级电网辅助服务市场化[11-12],除西藏外,我国有31个省/区实现了辅助服务补偿,且主要针对发电侧资源的调峰、调频、备用等辅助服务,而可调节负荷资源参与电力辅助服务还处于起步阶段。

近年来,国家政策的支持力度大幅提升:2017年,国家能源局发布了《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》,鼓励采用竞争方式确定电力辅助服务的承担机制,其中明确指出了扩大电力辅助服务市场参与主体,鼓励储能设备、需求响应资源和第三方提供电力市场辅助服务;2018年,国家发展改革委、国家能源局发布了《关于提升电力系统调节能力的指导意见》,鼓励发展各类灵活性用电负荷,提升电力用户侧的调节能力;2021年,国家能源局印发了《并网主体并网运行管理规定》和《电力系统辅助服务管理办法》即"两个细则"修订版,在国家层面明确了用户可调节负荷的辅助服务市场主体地位,指出了将能够响应调度指令的用户可调节负荷(包括通过聚合商、虚拟电厂等形式聚合的可调节负荷)纳入提供辅助服务的主体范围。

从可调节负荷资源参与市场的试点方面来看,我国已有近10个省市相继发布了负荷侧资源参与电力辅助服务市场的相关交易规则,积极探索可调节负荷资源参与电力辅助服务市场的实现途径[13-14],通过市场化手段激励负荷挖掘调节潜力。然而,可调节负荷资源作为新兴的市场主体参与电力辅助服务还处于探索阶段,各地出台的交易规则在交易品种、市场准入技术条件、交易模式、组织流程等方面还存在差异性及不确定性。为此,本文从交易规则编制的关键要素出发,对比分析和总结了各省市的交易特点及适应性,并对下一阶段可调节负荷参与电力辅助服务市场面临的挑战和关键技术进行了深入思考。

1 参与电力辅助服务市场的交易规则及交易品种

随着我国电力市场建设的不断推进,多省市相

收稿日期:2022-02-28;**修回日期**:2022-05-07
在线出版日期:2022-05-10
基金项目:国家电网公司科技项目(可调负荷参与电网辅助服务的商品体系、出清模型及算法研究)(5108-202155050A-0-0-00)
Project supported by the Science and Technology Program of State Grid Corporation of China(Research on Products System, Clearing Models and Algorithms for Adjustable Loads Providing Ancillary Services)(5108-202155050A-0-0-00)

继出台了可调节负荷资源参与电力辅助服务的交易规则，具体交易规则和交易品种见表1。

表1中交易规则的编制思路大体分为两大类：一类是针对可调节负荷资源的特点，单独发布其参与电力辅助服务市场的交易规则，便于与传统电源侧资源的市场规则进行区分，如华北、河北南网、江苏、山西、浙江等发布的交易规则；另一类是在电力辅助服务市场规则中新增一类交易品种（如表中加粗内容所示），例如宁夏新增可调节负荷交易品种，湖南新增紧急短时调峰交易品种，新疆新增可中断负荷交易品种，上海新增虚拟电厂调峰交易品种等，这种编制思路保持了规则的整体性。此外，由表1不难发现，目前可调节负荷资源参与电力辅助服务主要集中在调峰市场，且除了湖南是削峰型外，大多为填谷型调峰，即调增用电曲线。在交易品种方面，浙江扩展了旋转备用、调频、无功调节等辅助服务，交易品种日趋丰富。

2　市场主体和市场准入条件

可调节负荷资源作为新兴的市场主体，在市场规则中出现了多种不同的提法，包括第三方独立主体、电力市场用户可调负荷、用户可控负荷、可中断负荷、虚拟电厂、需求侧资源等。本节从市场主体的定义、准入条件和技术要求方面进行分析。

2.1　市场主体的定义

在电力辅助服务市场规则中，对可调节负荷资源的定义主要从资源类型、调节特性、实现手段、调节效果等方面进行。不同的提法在本质上的区别不大，只是描述角度不同，具体如下。

1）第三方独立主体主要突出了市场属性，从市场成员资源类型角度进行描述，包括储能装置、电动汽车（充电桩）、电采暖、负荷侧调节资源以及虚拟电厂等，可按照经营主体独立参与市场，也可通过聚合方式由代理商分类代理参与市场。

2）电力市场用户可调负荷、用户可控负荷及可中断负荷主要突出了调节特性，从电网调度的角度进行描述：根据电力系统的运行需要，通过调增或削减用电负荷所提供的增加或减少的用电负荷。

3）虚拟电厂突出了实现手段，从对比电厂特性的角度进行描述：集合多种分布式能源资源构成的特殊类型的发电厂，通过先进的控制、通信等技术实现分布式电源、柔性负荷、电动汽车等分布式单元的协调和优化运行。

4）需求侧资源则主要是与发电侧资源相对应，并进行了区分描述。

目前，可调节负荷资源的类型和特性多样且具有地方特色，全国尚未统一，因此在制定规则时可以从上述方面进行描述，并根据各地的特色增／减资源类型，在相对统一定义的同时满足个性化需求。

2.2　市场主体的准入条件和技术要求

相较于传统的发电机组，可调节负荷资源参与电力辅助服务的准入条件和技术要求有所差异，各地区市场规则中市场主体的准入条件如附录A表A1所示。从表中可以看出，对单体用户及聚合类调节资源的调节容量、调节电量、持续时间设定了准入门槛最小值，大多要求满足10 MW的调节能力，而河北南网只需要满足2 MW的调节能力，上海仅需满足1 MW即可。一方面，较低的准入门槛起到了鼓励中小型用户参与市场的积极性；另一方面，考虑到电网调度及市场出清的技术难度，聚合商、虚拟电厂等聚合类市场主体会发挥更大的作用。

在技术要求方面，需要对资源接入、信息采集、数据交互、调控方式、安全防护、计量采集、聚合商具备的平台功能等方面进行限定，例如山西发布的规则中要求：应具备与调度机构进行数据交互的技术

表1　交易规则和交易品种

Table 1　Trading rules and trading varieties

地区	交易规则名称	交易品种
华北	《第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务试点市场规则（试行2020版）》[15]	调峰辅助服务（填谷）
河北南网	《第三方独立主体参与河北南网电力调峰辅助服务市场试点规则》[16]	调峰辅助服务（填谷）
山西	《山西独立储能和用户可控负荷参与电力调峰市场交易实施细则（试行）》[17]	调峰（初期填谷）
江苏	《江苏电力市场用户可调负荷参与辅助服务市场交易规则（试行）》[18]	中长期、短期可调节负荷辅助服务
浙江	《浙江省第三方独立主体参与电力辅助服务市场交易规则（试行）》[19]	调峰、旋转备用、调频、无功调节
上海	《上海电力调峰辅助服务市场运营规则（试行）》[20]	**虚拟电厂调峰（填谷）**、深度调峰、调停调峰
宁夏	《宁夏电力辅助服务市场运营规则》[21]	**可调节负荷（填谷）**、深度调峰、调停备用、电储能（削峰填谷）
湖南	《湖南省电力辅助服务市场交易规则（试行）》[22]	**紧急短时调峰（削峰）**、深度调峰、启停调峰、旋转备用
甘肃	《甘肃省电力辅助服务市场运营暂行规则（2020年修订版）》[23]	**需求侧资源（填谷）**、发电机组实时深度调峰、火电机组调停备用
新疆	《新疆电力辅助服务市场运营规则》[24]	**可中断负荷（填谷）**、实时深度调峰、调停备用

支持系统，并满足系统接入要求；功能需包括但不限于负荷在线监测、负荷优化调控、负荷聚合分类管理、用户管理、合同管理、执行结果管理等。从电网调控的角度出发，对可调节负荷准入的技术要求进行规范非常重要，但现有的交易规则往往忽视了这一点。

3 市场交易组织和竞价

市场交易组织和竞价中主要涉及交易周期、交易模式、市场启动条件、市场出清、报价限额等方面，具体如表2所示。

从表2中可以看出：交易的时间尺度主要分为月度、日前、日内和实时，交易可涉及其中的一个或者多个，目前主要集中在日前市场；从交易模式来看，主要包括双边协商、双边集中竞价和单边集中竞价三大类，各电网结合自身的实际调节需求和市场主体的特点，通过选择合适的交易模式来激励可调节负荷参与市场的积极性；从市场启动条件来看，大多是调度机构根据电网的实际运行需求进行确定，如调峰紧张时段、弃风弃光时段、机组需要深度调峰等，这些描述的边界条件比较模糊，而湖南则规定“系统备用容量占比小于3%，可能采取有序用电措施时启动”，具体量化了启动条件，更容易执行操作；从出清方式来看，单边交易的出清方式包括从低到高按报价统一边际出清、按报价出清等，双边交易的出清方式包括按协商价格出清、按最后匹配的买卖双方申报价格的平均值出清等；各地的交易报价限额存在较大的差异，报价上限从100元/(MW·h)到2000元/(MW·h)不等，这与交易的时间尺度(月度、日前和实时)、响应时段(峰、平、谷时段)、季节(北方地区供热和非供热期)、响应特性(响应功率和持续时间)等密切相关。

4 典型交易模式的组织流程及适应性分析

可调节负荷参与辅助服务市场存在多种交易模式，与电网的调节需求和激励机制密切相关。不同的交易模式各有特点，其组织流程和适应范围也存在较大的差异。

表2 市场交易组织和竞价对比

Table 2 Comparison of market trading organization and bidding

地区	交易周期	交易模式	市场启动条件	出清方式	报价限额
华北	日前/日内	发用电单边集中竞价	全年电网有调峰需求时启动	统一边际出清	报价上限为600元/(MW·h)
河北南网	日前	发用电单边集中竞价	调度紧张时段	价格接受者按发电侧价格出清	—
山西	日前	单边集中竞价	优于省内火电机组深调辅助市场以促进新能源消纳	统一边际出清	供热期、非供热期报价上限分别为300、200元/(MW·h)
江苏	中长期/短期/日前	单边集中竞价	根据电网运行需求	统一边际出清	中长期交易的谷、平、峰时段报价上限分别为250、600、900元/(MW·h)；短期交易时长大于等于4 h时的报价上限为1000元/(MW·h)，时长小于4 h时的报价上限为2000元/(MW·h)
上海	日前/日内/实时	单边集中竞价	按需发布调峰需求曲线	统一边际出清	日前、日内、实时的报价上限分别为100、100、400元/(MW·h)
宁夏	日前	双边协商	风电、光伏企业对应时段新增发电空间	按双边协商价格出清	—
		双边集中竞价	弃风弃光时段	以最后一个匹配成交的用户申报价格的平均值为成交价格出清	报价上限、下限分别为2000、1000元/(MW·h)
湖南	日前	单边集中竞价	系统备用容量占比小于3%，可能采取有序用电时启动	按序调用时按报价出清，优先调用时按最低报价出清	按照功率和持续时间的不同进行分档限价，限价在100~160元/(MW·h)之间
甘肃	日前	发用电单边集中竞价	电网有调度需求、机组需要深度调峰时启动	按申报报价出清	报价上限为200元/(MW·h)
新疆	日前	双边协商	风电、光伏企业对应时段新增发电空间	按双边协商价格出清	—
		双边集中竞价	弃风弃光时段	按成交价格出清	—

4.1　双边协商交易模式

双边协商是买方新能源企业与卖方负荷侧资源进行协商交易，在弃风弃光时段由可调节负荷提供调峰服务，双方根据协商价格签订电量或电力合约执行。双边协商交易模式的特点为：以新能源企业新增发电空间为主要目标需求，有明确的买卖双方，组织流程简单，但缺乏市场化价格竞争。双边协商交易模式的典型组织流程见图 1，该模式主要适用于新能源渗透率高且消纳困难突出的地区，在市场初期阶段应用，典型代表有宁夏、新疆。

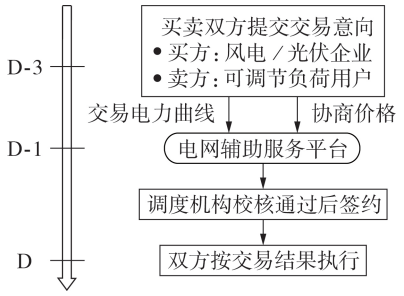

图 1　双边协商交易模式的组织流程

Fig.1　Organizational process of bilateral negotiation trading mode

4.2　双边集中竞价交易模式

双边集中竞价交易是买卖双方在交易平台上进行集中报量、报价，通过价格高低匹配等原则进行交易结果出清。双边集中竞价交易模式的特点为：以新能源企业新增发电空间为主要目标需求，且有数量较多的买方、卖方，通过市场化竞价更能反映其调节成本。该模式的难点在于执行过程中负荷用电与新能源发电的匹配程度和增量的合理计算。双边集中竞价交易模式的典型日前组织流程如图 2 所示，该模式主要适用于新能源消纳困难较频繁、参与的市场主体较多且电力市场较为完善的地区。

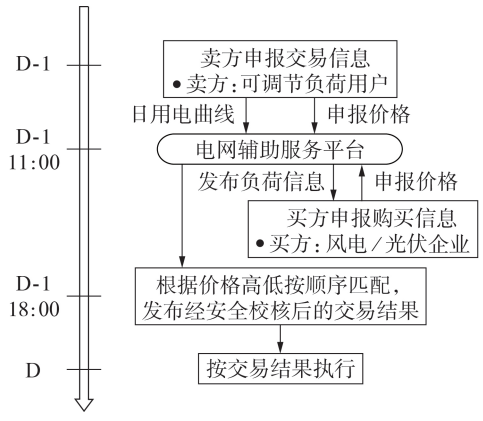

图 2　双边集中竞价交易模式的组织流程

Fig.2　Organizational process of bilateral centralized bidding trading mode

4.3　单边集中竞价交易模式

单边集中竞价交易是根据电网发布的辅助服务需求，卖方在交易平台上进行集中报量、报价，按照价格从低到高的顺序进行交易出清。同时，在组织流程中涉及省间市场与省网市场的衔接、日前市场与日内市场的时序衔接问题，以华北为例，省间与省网的交易组织流程如图 3 所示，虚线框中为典型的省网市场。

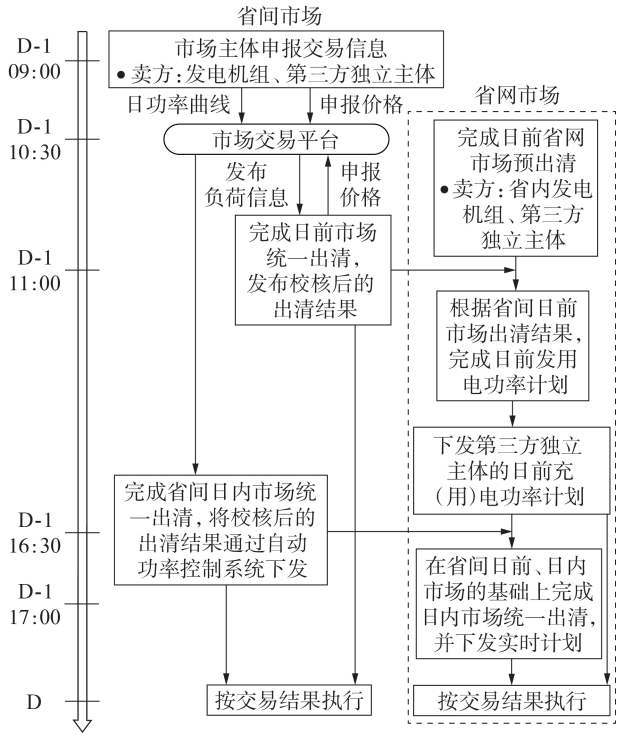

图 3　单边集中竞价交易模式的组织流程

Fig.3　Organizational process of single-sided centralized bidding trading mode

从图 3 中可以看出：省间（以华北为例）市场在时序上优先于省网市场，其结果是省网市场（如京津唐）的边界条件；日前市场的结果是日内市场的边界条件。此外，按照参与市场主体类型可分为 2 类：一类为发用电单边集中竞价，即可调节负荷与发电资源均作为卖方统一报价和出清，如华北、河北南网和甘肃；另一类为卖方仅包含负荷侧资源，即可调节负荷进行单独报价和出清，不与发电企业同台竞价，如山西、江苏、上海、浙江和湖南。

单边集中竞价交易模式的特点为：以解决电网调峰紧张、电网备用不足、促进新能源消纳等电网共性需求为主要目标，当发电侧调节能力不足时，通过激发可调节负荷进行补充，以提升电网的调节能力。该模式没有直接的买方，由电网提出市场需求并组织开展交易，通过单边集中竞价提升经济性。电力辅助服务市场建设中以该模式为主，后续在市场化程度推进过程中能平稳过渡到现货市场。

4.4 应用情况

可调节负荷参与辅助服务市场的规则出台后，各地区在不同典型交易模式下的试点应用情况如表3所示。从表中可以看出，可调节负荷参与调峰辅助服务市场极具潜力，能在一定程度上缓解电网的调峰压力，同时也是消纳新能源的有效手段。在双边协商交易模式下，宁夏的新能源企业与工业用户达成交易，当新能源发电量较大时，通过转移或开启生产线方式进行消纳，交易电量较大，度电平均收益电价为0.14元，相当于在高峰时段享受平时段电价，降低了生产成本。华北、甘肃采用发用电同台竞价的模式，当电网有深度调峰需求时开展，华北采用统一出清方式，收益电价随市场需求波动较大，体现了市场的竞争性，甘肃采用按报价出清的方式，度电收益电价以用户预期为主，因此较为平稳基本为0.18元左右。在负荷单边集中竞价交易模式下，江苏在春节期间开展了5天的短期调峰交易，阶段性地缓解了电网的供需矛盾，相较于其他模式，该模式的竞价较高且缺乏竞争性，但能在一定程度上激励可调节负荷的积极性。

表3 典型交易模式的应用情况

Table 3 Application of typical trading modes

地区	交易模式	交易情况	度电平均收益电价/元
宁夏	双边协商	时间为2020年3—5月，调峰能力为300 MW，交易电量为13 000 MW·h	0.14
华北	发用电单边集中竞价（统一出清）	时间为2020年1—3月，调峰能力为40 MW，交易电量为15 120 MW·h	0.05~0.32
甘肃	发用电单边集中竞价（按报价出清）	时间为2020年3—5月，调峰能力为200 MW，交易电量为5 780 MW·h	0.18
江苏	负荷单边集中竞价	时间为2021春节5天，调峰能力为225 MW，交易电量为4 300 MW·h	0.50

5 资金来源和分摊

资金来源和分摊是市场规则中的关键要素之一，关系到市场的合理性、公平性和可持续性。如何正确疏导资金非常关键，各地区结合实际情况进行了诸多探索。目前，资金来源主要可分为市场化费用、政策固定费用2类，市场化费用的分摊方式与交易模式有关。一方面，市场化费用是主要的资金来源：对于采用单边集中竞价交易模式的大部分地区而言，其主要通过传统发电侧的辅助服务主体进行分摊，山西省提出通过发电侧及用户侧市场主体按比例共同分摊，江苏省提出由市场化用户进行分摊；采用双边集中竞价模式的宁夏和新疆则由风电和光伏企业承担费用。另一方面，当资金来源是政策性或其他固定来源时，没有明确的分摊主体，且由于资金总量有限，缺乏大规模和持续性发展，如湖南省的资金来源是辅助服务费用超额部分、考核费用，费用十分有限。

6 挑战及关键技术

我国可调节负荷资源参与电力辅助服务市场还处于初步实施阶段，为电网提供的服务以及可参与的交易品种较少，在未来大规模应用的情景下还会面临诸多挑战和问题，需要在以下方面进一步突破。

6.1 构建丰富的可调节负荷参与辅助服务交易品种

从交易规则和应用情况来看，目前可调节负荷参与辅助服务市场主要集中在调峰市场，激励形式较为单一。结合电网的运行需求和可调节负荷资源的调节特点，需要将可调节负荷可提供的服务与电网的应用场景进行有效匹配，建立合理的市场交易品种是引导用户充分挖掘调节潜力的关键所在。结合电力市场发展的不同阶段，在非现货环境和现货环境下，以提高电网安全和效率为目标，构建可调节负荷可参与的市场交易品种如表4所示。在非现货环境下，可调节负荷主要参与调峰、调频、备用电力辅助服务和紧急负荷控制；在现货市场环境下，可调节负荷主要参与负荷削减辅助服务、现货电能量市场、现货辅助服务、爬坡辅助服务等，且在成熟阶段还可以参与中长期交易、容量市场等。值得注意的是，未来负荷资源是参与现货市场的重要部分，其在市场中的定位及交易模式值得深入研究。一方面，开展双边交易参与现货电能量市场，通过对现货价格的反应即“高价少用、低价多用”，起到削峰填谷的作用；另一方面，探索现货市场与调峰辅助服务、爬坡辅助服务等相融合的创新交易模式，充分激发和体现灵活性调节的价值。

表4 可调节负荷可参与的市场交易品种

Table 4 Market trading varieties can be participated in with adjustable load

市场环境	交易品种	目标
非现货	调峰辅助服务	提高效率
	备用辅助服务	提高电网安全及机组负荷率
	调频辅助服务	提高电网安全
	紧急负荷控制	提高电网安全，低频
现货	负荷削减辅助服务	提高电网安全
	现货电能量市场	提高效率
	现货备用辅助服务	提高电网安全
	现货调频辅助服务	提高电网安全
	爬坡辅助服务	提高电网安全
	中长期交易	提高效率
	容量市场	提高电网安全

6.2　规范可调节负荷市场主体的准入和技术认证

可调节负荷资源一般具有单体容量小、物理分布散、资源种类多等特点，其作为提供辅助服务的市场主体，对市场准入具有一定的要求。因此，未来以聚合商、虚拟电厂等为代表的聚合类可调节负荷是重要的参与者，且从发展趋势来看规模将进一步扩大，但还存在技术条件不成熟、市场意识不强等问题。

需明确市场主体准入以及技术认证的具体要求。①除了具备法人资格等基本要求外，还需要满足电网的接入要求，尤其对于聚合类可调节负荷，需要建立聚合服务管控平台，功能需包括负荷在线监测、负荷优化调控、负荷聚合分类管理、用户管理、合同管理、执行结果管理等。不仅需对所代理的负荷实体调节能力进行实时掌控，还需结合电网的调节需求进行优化配置和调节，真正地发挥承上启下的作用。②入市之前需要通过电力调度机构的认证测试，亟需形成可量化的可调节负荷技术认证规范和标准。技术认证可以包括：调节能力测试，如调峰、调频、备用能力等（具体参数为可调节量、响应时间、可持续时间、调节速率等）；通信条件测试，如通信方式、数据接口、交互格式、网络要求、安全防护要求等；电量数据计量和传输测试，以满足数据准确性和可靠性规范。从长远的角度来看，规范可调节负荷市场主体的准入和技术认证非常必要，既能提高可调节负荷聚合调控的可信度，又能提高其市场竞争力，对促进更大规模的市场交易具有积极意义。

6.3　协调市场交易和电网调度运行

可调节负荷作为电网的辅助服务主体有其特殊性，主要问题在于：参与市场交易的市场主体与参与电网调节的实体负荷是相对分离的，职责和要求也有所差异，所以协调市场交易和电网调度运行是一大挑战，以负荷聚合商为例的协调运行示意图如图4所示。从交易层面来看，负荷聚合商是市场注册交易、申报和结算的对象，然而各负荷实体是电网计量的对象，负荷实体的计量数据是基线设定和考核的重要依据；从调度运行层面来看，更关注参与电网调控的负荷实体，其电网接入点关系到电网潮流、安全校核、辅助决策等电网计算分析问题，同一负荷聚合商所包含的负荷实体可能存在跨越多个运行分区的情况，当电网发生故障时，需要结合资源的接入点进行精准调用。

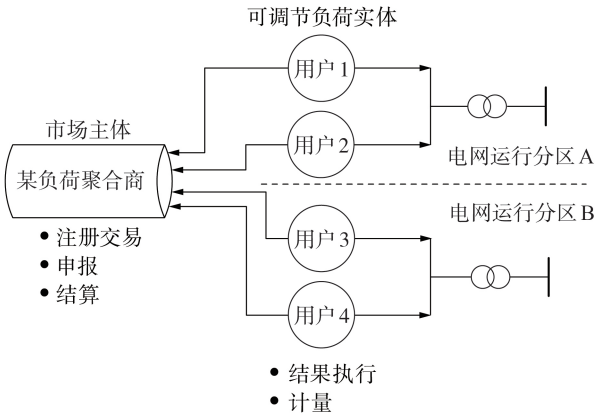

图4　聚合类可调节负荷参与交易和调度运行协调示意图

Fig.4　Coordination diagram of aggregated adjustable load participation in trading and scheduling operation

针对上述挑战，电网侧需要建立聚合商 / 负荷实体多层级负荷模型，实现可调节负荷接入与电网拓扑的匹配关系，但由于分散负荷实体量大且电压等级低，分别建模的工作量巨大。因此，结合电网的应用场景：对于参与提升电网安全可靠的市场交易（如备用、故障紧急控制等），需要建立其详细的电网拓扑模型；对于提升电网运行效率的市场交易（如电网调峰等），可适当简化其建模。同时，计及可调节负荷参与市场交易的调度模式将发生较大的变化，调度部门肩负交易结果执行和电网安全调控决策的双重任务，极具挑战。因此，在组织架构、业务流程等方面，调度机构和交易机构需要更加紧密地协调与衔接。

6.4　建立合理的价格形成及费用疏导机制

可调节负荷对价格的反应是市场结果有效以及具备竞争力的重要体现，因此合理的定价及价格形成机制非常关键。对于不同类型以及具备不同调节性能的可调节负荷而言，需要考虑调节服务成本、性能表现等差异化因素，通过划分不同的等级进行差异化补偿或限价约束，为其提供多渠道获利方式以充分体现多维度价值。以价格信号激发电网运行的灵活性，遵循通过市场化竞争形成价格的原则，能在反映供需水平的同时提升市场活力。同时，可调节负荷资源参与市场的费用疏导机制也是关键问题[25]：在政策方面，可加快推进响应成本纳入输配电价核定的政策落地；在市场分摊原则方面，可按照“谁提供，谁获利；谁受益，谁承担”，逐步建立电力用户参与分担共享机制。

7　结论

规模化可调节负荷资源参与电力辅助服务市场是市场化下一阶段的发展方向，出台相关市场交易规则具有重要的导向作用。本文首先从交易品种、市场主体和准入条件、市场交易组织和竞价、典型交易模式和适应性、资金来源和分摊5个方面对我国近10个省市出台的相关辅助服务市场规则进行了对比分析，可为其他省市市场规则的出台和实践提供经验借鉴。随着我国电力市场的不断发展，可调节负荷资源参与电力辅助服务市场还需要在构建丰富的市场交易品种、规范技术认证、协调市场交易和电网调度运行、建立合理的价格形成和费用疏导机

制等关键方面进行突破。通过大量培育可调节负荷市场主体进一步扩大交易规模,发挥其更重要的作用,有助于我国新型电力系统的建设和“双碳”目标的实现。

附录见本刊网络版(http://www.epae.cn)。

参考文献:

[1] 孙玲玲,高赐威,谈健,等. 负荷聚合技术及其应用[J]. 电力系统自动化,2017,41(6):159-167.
SUN Lingling,GAO Ciwei,TAN Jian,et al. Load aggregation technology and its applications[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(6):159-167.

[2] 李嘉媚,艾芊. 考虑调峰辅助服务的虚拟电厂运营模式[J]. 电力自动化设备,2021,41(6):1-7.
LI Jiamei,AI Qian. Operation mode of virtual power plant considering peak regulation auxiliary service[J]. Electric Power Automation Equipment,2021,41(6):1-7.

[3] 文旭,杨可,毛锐,等. 可调节负荷调控能力评估行业标准研究及应用[J]. 电网技术,2021,45(11):4585-4593.
WEN Xu,YANG Ke,MAO Rui,et al. Research and application of industry standards for evaluation of adjustable load control capacity[J]. Power System Technology,2021,45(11):4585-4593.

[4] 姚建国,杨胜春,王珂,等. 智能电网“源-网-荷”互动运行控制概念及研究框架[J]. 电力系统自动化,2012,36(21):1-6,12.
YAO Jianguo,YANG Shengchun,WANG Ke,et al. Concept and research framework of smart grid “source-grid-load” interactive operation and control[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(21):1-6,12.

[5] 孙惠,翟海保,吴鑫. 源网荷储多元协调控制系统的研究及应用[J]. 电工技术学报,2021,36(15):3264-3271.
SUN Hui,ZHAI Haibao,WU Xin. Research and application of multi-energy coordinated control of generation,network,load and storage[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2021,36(15):3264-3271.

[6] 陈刚,杨晓梅,王建明,等. 用户侧友好互动探究[J]. 电网技术,2019,43(4):1411-1420.
CHEN Gang,YANG Xiaomei,WANG Jianming,et al. Exploration and prospect of user side friendly interaction[J]. Power System Technology,2019,43(4):1411-1420.

[7] 宁剑,江长明,张哲,等. 可调节负荷资源参与电网调控的思考与技术实践[J]. 电力系统自动化,2020,44(17):1-8.
NING Jian,JIANG Changming,ZHANG Zhe,et al. Thinking and technical practice of adjustable load resources participating in dispatching and control of power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2020,44(17):1-8.

[8] 沈运帷,李扬,高赐威,等. 需求响应在电力辅助服务市场中的应用[J]. 电力系统自动化,2017,41(22):151-161.
SHEN Yunwei,LI Yang,GAO Ciwei,et al. Application of demand response in ancillary service market[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(22):151-161.

[9] 何永秀,陈倩,费云志,等. 国外典型辅助服务市场产品研究及对中国的启示[J]. 电网技术,2018,42(9):2915-2922.
HE Yongxiu,CHEN Qian,FEI Yunzhi,et al. Typical foreign ancillary service market products and enlightenment to China[J]. Power System Technology,2018,42(9):2915-2922.

[10] 王蓓蓓,丛小涵,高正平,等. 高比例新能源接入下电网灵活性爬坡能力市场化获取机制现状分析及思考[J]. 电网技术,2019,43(8):2691-2702.
WANG Beibei,CONG Xiaohan,GAO Zhengping,et al. Status analysis and thoughts of market-oriented acquisition mechanism on flexible ramp capability for power grid with high proportion of renewable energy[J]. Power System Technology,2019,43(8):2691-2702.

[11] 李建林,郭威,牛萌,等. 我国电力系统辅助服务市场政策分析与思考[J]. 电气应用,2019,38(10):22-27,35.
LI Jianlin,GUO Wei,NIU Meng,et al. Analysis and thinking of China's power system auxiliary service market policy[J]. Electrotechnical Application,2019,38(10):22-27,35.

[12] 胡朝阳,毕晓亮,王珂,等. 促进负备用跨省调剂的华东电力调峰辅助服务市场设计[J]. 电力系统自动化,2019,43(5):175-182.
HU Zhaoyang,BI Xiaoliang,WANG Ke,et al. Design of peak regulation auxiliary service market for east china power grid to promote inter-provincial sharing of negative reserve[J]. Automation of Electric Power Systems,2019,43(5):175-182.

[13] 史沛然,李彦宾,江长明,等. 第三方独立主体参与华北电力调峰市场规则设计与实践[J]. 电力系统自动化,2021,45(5):168-174.
SHI Peiran,LI Yanbin,JIANG Changming,et al. Rule design and practice for third-party independent entities participating in electric power peak regulation auxiliary service market of North China[J]. Automation of Electric Power Systems,2021,45(5):168-174.

[14] 张敏,王建学,王秀丽,等. 面向新能源消纳的调峰辅助服务市场双边交易机制与模型[J]. 电力自动化设备,2021,41(1):84-91.
ZHANG Min,WANG Jianxue,WANG Xiuli,et al. Bilateral trading mechanism and model of peak regulation auxiliary service market for renewable energy accommodation[J]. Electric Power Automation Equipment,2021,41(1):84-91.

[15] 国家能源局华北监管局. 第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务试点市场规则(试行2020版)[EB/OL]. (2020-11-11)[2022-02-11]. https://shoudian.bjx.com.cn/html/20201211/1121684.shtml.

[16] 国家能源局华北监管局. 第三方独立主体参与河北南网电力调峰辅助服务市场试点规则[EB/OL]. (2020-10-27)[2022-02-11]. https://guangfu.bjx.com.cn/news/20201028/1112555.shtml.

[17] 国家能源局山西监管办. 山西独立储能和用户可控负荷参与电力调峰市场交易实施细则(试行)[EB/OL]. (2020-12-16)[2022-02-11]. https://guangfu.bjx.com.cn/news/20201028/1112555.shtml.

[18] 国家能源局江苏监管局. 江苏电力市场用户可调负荷参与辅助服务市场交易规则(试行)[EB/OL]. (2020-11-06)[2022-02-11]. http://jsb.nea.gov.cn/news/2020-11/20201110100742.htm.

[19] 国家能源局浙江监管局. 浙江省第三方独立主体参与电力辅助服务市场交易规则(试行)[EB/OL]. (2021-05-20)[2022-02-11]. https://shoudian.bjx.com.cn/html/20210520/1153660.shtml.

[20] 国家能源局华东监管局. 上海电力调峰辅助服务市场运营规则(试行)[EB/OL]. (2020-04-22)[2022-02-11]. http://shoudian.bjx.com.cn/html/20200426/1066874.shtml.

[21] 国家能源局西北监管局. 宁夏电力辅助服务市场运营规则[EB/OL]. (2021-03-30)[2022-02-11]. https://shoudian.bjx.com.cn/html/20210510/1151675.shtml.

[22] 国家能源局湖南监管办. 湖南省电力辅助服务市场交易规则(试行)[EB/OL]. (2020-11-02)[2022-02-11]. https://guangfu.bjx.com.cn/news/20210108/1128240.shtm.

[23] 国家能源局甘肃监管办. 甘肃省电力辅助服务市场运营暂行规则(2020年修订版)[EB/OL]. (2021-01-20)[2022-02-11]. http://gsb.nea.gov.cn/view.asp?id=4336&typeid=237.

[24] 国家能源局新疆监管办. 新疆电力辅助服务市场运营规则[EB/OL]. (2021-01-16)[2022-02-11]. http://xjb.nea.gov.cn/UploadFiles/200116123612463.pdf.

[25] 江岳文,韦嘉睿. 考虑用户侧参与的调峰辅助服务费用分摊机制[J]. 电力自动化设备,2022,42(4):41-47.
JIANG Yuewen, WEI Jiarui. Allocation mechanism of peak-shaving auxiliary service cost considering consumer side participation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(4):41-47.

作者简介:

周　竞

周　竞(1987—),女,高级工程师,硕士,主要研究方向为源网荷储协同互动、需求响应及电力市场(**E-mail**:zhoujing@epri.sgcc.com.cn);

耿　建(1971—),男,研究员级高级工程师,博士,主要研究方向为电力市场、电力系统优化调度(**E-mail**:gengjian@epri.sgcc.com.cn);

唐　律(1986—),男,高级工程师,硕士,主要从事调度运行、电网及能源规划方面的研究工作。

(**编辑**　陆丹)

Rule analysis and cogitation for adjustable load resources participating in ancillary service market

ZHOU Jing[1], GENG Jian[1], TANG Lü[2], ZHAO Yiyan[2], ZHANG Si[2]

(1. China Electric Power Research Institute(Nanjing), Nanjing 210003, China;
2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310007, China)

Abstract: The participation of adjustable load resources in auxiliary service market is advancing rapidly in China. The introduction of market trading rules is an important guide for pilot application and landing promotion. Based on the development of the market rules for adjustable load resources participating in auxiliary services in China, the compilation thought of trading rules and trading varieties, the definition of market entities, the access conditions and technical requirements, the market trading organization and bidding, the organizational process of typical trading modes, the sources and allocation of funding, and so on, are compared and analyzed. The challenges and key technologies of large-scale adjustable load participating in auxiliary service market are summarized, which can provide reference for subsequent provinces to formulate and issue relevant rules.

Key words: electricity market; adjustable load; ancillary service market; trading rules; trading mode

附录 A

表 A1 市场主体的准入条件对比

Table A1 Comparison of access conditions for market entities

地区	准入条件
华北	第三方独立主体具备稳定提供不少于 10 MW 的调节电力、30 MW·h 的调节电量的能力
河北南网	①第三方独立主体调节容量不小于 2 MW，调节总量不低于 2 MW·h； ②聚合商调节容量不小于 5 MW，调节总量不低于 5 MW·h
山西	①电力用户：专变、专线工商业电力用户，最小调节能力应不低于 10 MW，单日累计持续响应时间不低于 2 h； ②辅助服务聚合商：总调节能力应不低于 20 MW，单日累计持续响应时间不低于 2 h
江苏	①参与中长期市场批发交易的一类用户承诺后，可直接参与； ②参与中长期市场零售交易的二类用户，通过签约的售电公司参与市场
上海	虚拟电网可调容量应为 1 MW 及以上
宁夏	可调节负荷用户最大用电电力须达到 10 MW 及以上
湖南	已接入精准切负荷系统、一次减少负荷有功功率达 10 MW 及以上的用户
甘肃	需求侧资源用户最小用电电力需达到 10 MW 及以上
新疆	可中断负荷用户最大用电电力须达到 10 MW 及以上