

新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计与评估

王盼盼

山东国华时代投资发展有限公司 山东济南 250000

摘要: 为解决新能源的并网引起的电力系统波动性加剧、备用容量稀缺等问题,通过对新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制进行了研究分析,首先,简单介绍了新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计的必要性,随后分析了新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计的目标,包括新能源消纳、保障电力供应、实现备用容量市场化激励,最后提出了新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计措施,包括明确相关市场主体参与资格,设计交易出清环节,采用日清月结合算方式分摊费用。通过进行机制评估结果表明,在总成本不变的情况下,可以提升发电侧利润,验证了机制在资源优化配置与市场化激励方面的有效性。

关键词: 新能源; 电力辅助服务市场; 竞价机制; 评估分析

前言

当前的电网以及电能市场普遍面临以下几点问题,一是仅在电力调频市场存在单一的调频辅助服务,限制了电能市场新能源促消纳的作用价值发挥。二是电力现货市场备用服务整体的市场化水平不足,难以有效控制备用容量成本,不利于发电企业进行申报,导致电力现货价格出现较大的波动。三是在夏季以及冬季供用电高峰时期,我国很多地区仍存在备用容量不足问题。随着大量新能源装机使用,进一步增加发电波动性,现有的电力系统顶峰保供与低谷消纳矛盾将会日益突出。需要加强对备用电力辅助服务市场的竞价机制设计,通过市场化机制量化备用电力价值,引导新能源、火电、储能等多元主体参与竞争,有效实现保供应、促消纳目标。

1 新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计分析

1.1 市场参与主体

一是新能源发电主体,包括风力电厂、光伏电站等。二是传统能源主体,包括燃煤机组发电主体、燃气机组发电主体等。三是新型调节电力资源主体,包括虚拟电厂、新型储能电站等。相关主体需要满足以下条件,才能进入电力辅助市场参与电量竞价。

1.2 竞价电量计算

在电力系统技术导则的制定下,需要完成竞价电量计算,才能有效应对新能源大幅度波动等场景下用户稳定供电的需求。在这一过程中,电网最小正备用容量可以由常规负

荷+新能源负荷电量组成。在晚高峰时段,初始备用需求容量表示如下:

$$R_{peak} = \max(P_{smax}, R_{min}) + \alpha P_{pre,max} \quad (1)$$

在(1)式中, R_{peak} 代表的是晚高峰时段电网初始备用需求。 P_{smax} 代表的是电网最大单一电源容量。 R_{min} 代表的是已经明确的最低备用容量。 $P_{pre,max}$ 代表的是新能源最大预测出力。 α 代表的是新能源备用比例系数,一般在初期,这种系数不宜过大,取值20%为宜。

1.3 确定交易报价

在备用电能市场中,可以在运行日设置5个时段。具体来说,一是早间低谷时段,具体的时间范围是00:00-06:00;该时段在竞价策略方面,由于实际负荷需求比较低,带来的新能源出力波动小,因此宜选择低价申报。二是午间平峰时段,具体的时间范围是06:00-012:00;该时段的负荷相对平稳,竞价策略应选择适中的价格区间。三是午间低谷时段,具体的时间范围是12:00-16:00;该时段的竞价策略类似上述早低谷时段。四是晚高峰时段,具体的时间范围是16:00-21:00;五是晚间平峰时段,具体的时间范围是1:00-24:00。该时段处于用电负荷高峰时期,备用非常的稀缺,因此可以进行高价申报。备用服务供应商可以结合自身实际情况,围绕上述5个时段,在竞价日申报不同的容量与价格。如果在此期间供应商没有提交申报信息,则默认按照上述对应时段内最大的可申报容量与最高的价格进行申报。为了有效激发市场主体参与的积极性,还可以设置不同的申报价格

范围。具体来说，在早间低谷时段，申报价格范围是 0-10 元 / (MW · h)。在午间平峰时段，申报价格范围是 0-15 元 / (MW · h)。在午间低谷时段，申报价格范围是 0-10 元 / (MW · h)。在晚高峰时段，申报价格范围是 0-100 元 / (MW · h)。在平峰时段，申报价格范围是 0-15 元 / (MW · h)。通过对比上述价格申报范围可以发现，在晚高峰时段，申报价格范围明显较大，扩展了 0-100 元，主要目的是反映出市场主体真实的意愿，更好地凸显电力辅助服务市场的竞价的真实、合理、公平性。

1.4 交易出清

当下正备用市场已经与现货电能市场、调频辅助服务市场等进行顺序出清，可以分别进行优化^[9]。在这一过程中，需要正备用市场在信息披露、市场申报等环节与上述两个市场同步实施，3 个市场需要结合实际情况，理清顺序组织，依次完成出清，并结合各自市场发展，明确各种的价格，最终的结算也需要保持独立性。备用市场的组织步骤如图 1 所示。在推动调频辅助市场出清时，需要明确上述 5 个时段的中标调频机组与调频市场价格。

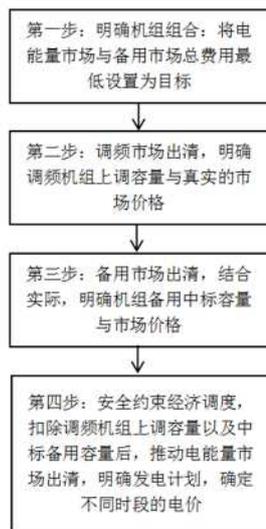


图 1 备用市场的组织流程步骤

1.5 结算分摊

正备用市场在结算方面，选择日清月结的方式。对供应商而言，可以获得两部分正备用补偿。一是备用中标容量补偿，二是富余发电量补偿。基于不同的时段划分，需要计算供应商应得的补充费用，为真实地体现市场需求，备用中标容量补偿需要结合供应商实际报价进行结算。而富余发电量补偿计算，则按照每 15 分钟进行计算，并按照该时段备用市场边际出清价格 0.1 倍进行补偿。备用中标容量补偿费用计算可以参考以下公式：

$$F_{m,t} = C_{m,t}^1 X_{m,t}^{offer} T_t + k C_{m,t}^2 X_t^{pmax} T_t, \forall m \in M \quad (2)$$

在 (2) 式中， $F_{m,t}$ 代表的供应商 m 在 t 时段备用中标容量补偿的费用。 M 代表的是所有备用供应商集合。 T_t 代表的是 t 时段的具体时间长度，数字 1、2 代表的是两种不同情况下备用容量结算价格。其中 1 代表的是正常竞价情况；2 代表强制分配情况。 $C_{m,t}^1$ 代表的是在正常竞价情况下，供应商 m 在 t 时段申报的中标容量，而 $X_{m,t}^{offer}$ 代表的是对备用申报价格，此时 $C_{m,t}^2$ 为 0。 $C_{m,t}^2$ 代表的是在强制分配情况下，供应商 m 在 t 时段强制分配的备用容量，此时 k 取值为 0.5。 X_t^{pmax} 代表的是 t 时段备用市场上限价。

2 新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制设计的评估分析

在不考虑线路阻塞情况下，以某地区典型日实际运输数据为依据，设置如表 1 所示的 3 机组配置进行分析，其中 A、B、C 分别代表高成本机组、中成本机组、低成本机组。

表 1 3 台机组成本以及运行参数信息

机组	额定容量 (MW)	最小出力 (MW)	爬坡率 (MW/min)	启动费用 (万元/次)	空载费用 (万元/h)	发电成本系数 a、b
A	150	70	3.0	60	2.5	a=0.195; b=265.0
B	280	140	8.5	110	4.2	a=0.172; b=205.5
C	380	180	4.0	120	4.8	a=0.048; b=170.8

同时设置以下两个场景，一是仅有电能市场，仅通过 SCUC 环节满足负荷和备用需求，不计算备用服务成本，

忽略备用调用可行性。二是备用—电能半耦合市场，在 SCUC 环节选择电能 + 备用总成本最低为目标，备用市场

全时段报价范围设置参考上述内容。在报价策略设计方面,针对备用市场报价,每个机组设置6种报价策略,其中两种极端报价策略,直接报价价格上限与下限,剩余4种为中间策略,均匀覆盖报价区间,不同机组策略各不相同。针对电能市场报价,采用阶梯报价策略,边际成本曲线通过发电系数 a 与 b 生成,每台机组设置5种报价策略,其中一种是成本报价,其他四种属于策略性报价,分别是成本报价的1.03倍、1.3倍、1.6倍、1.8倍。随后进行迭代求解,计算每种策略组合下该机组的利润,选择利润最大化策略进行更新,直到所有机组连续3轮策略不变,或达到预设迭代次数,最终获得利润最大化策略。最终市场绩效结果如表2所示。从中可知,备用市场的引入,在总发电成本不变的前提下,通过资源优化配置,可以显著提升发电侧利润。由此可以表明,在半耦合出清模式下,当电力供应充裕时,可以更好地保障电力系统安全,又能通过市场化补偿激励高成本机组参与备用服务,以此来实现市场新能源消纳、保供应以及市场化目标。

表2 不同场景下市场绩效对比

机组编号	总发电成本 /106 元	发电侧利润 /105 元
场景1: 仅有电能市场	3.2185	8.9123
场景2: 备用—电能量半耦合市场	3.2185	10.8756

3 结束语

总之,当前采用传统电力供应管理模式,已经不能对相关发电主体提供备用服务起到激励作用,需要加强对新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制的设计,明确具体的目标,并制定合理的市场主体、交易报价、出清流程与结算分摊规则,为更好地引导不同主体能够有动力提供更多的备用服务,后续通过加强对新能源参与电力辅助服务市场的竞价机制的评估分析,可以证明该项竞价机制的价值,有效提升了发电侧利润,顺利达成保供应、促消纳与市场化目标。

参考文献:

- [1] 谢开,刘敦楠,李竹,等.适应新型电力系统的多维协同电力市场体系[J].电力系统自动化,2024,(04):2-12.
- [2] 石剑涛,郭焯,孙宏斌,等.备用市场机制研究与实践综述[J].中国电机工程学报,2021,41(01):123-134+403.
- [3] 胡宏,陈新仪,王利峰,等.面向新型电力系统的华东电网运行备用体系构建方法[J].上海交通大学学报,2021,55(12):1640-1649.
- [4] 苏宜靖,吴华华,徐立中,等.面向新型电力系统的第三方独立主体辅助服务市场探索与实践[J].浙江电力,2022,41(08):25-30.