

储能参与调峰辅助市场的报价策略研究

祁 乐¹, 郑文彬¹, 邹 其¹, 宋吉峰¹, 陈明媛¹, 戴晓娟²

(1. 广西电网电力调度控制中心, 南宁 530012; 2. 北京清能互联科技有限公司广州分公司, 广州 510000)

摘要:高比例新能源发展促进了储能在电力系统中的规模化应用,且国内多省已构建适应储能参与的调峰辅助服务市场。而储能在调峰市场的报价策略将影响其在电力市场的收益。分析储能在国内典型调峰市场的出清和价格机制;以分档出清的广西调峰辅助服务为基础,设计储能在调峰市场的4种报价策略;构建算例对比分析4种报价策略下储能的市场收益,并提出储能在调峰市场报价的建议方案。

关键词:储能;调峰市场;出清和价格机制;报价策略

中图分类号:F426;TM61;[TM-9]

文献标志码:A

文章编号:1671-1807(2023)19-0055-05

在新型电力系统发展的背景下,由于高比例新能源的接入,电网调峰能力不足的问题愈加突出^[1-2]。而储能具有调节速率高、响应速度快、灵活性充足等优点,可有效地支撑新型电力系统的构建^[3]。同时,在国内电力体制改革和电力市场建设环境下,储能参与电力市场也是促进储能发展的重要举措。现阶段国内多省在补充完善储能参与深调辅助服务市场的机制,储能参与调峰辅助服务市场是储能收益的重要来源之一^[4-5]。而储能在调峰市场的出清和定价机制对储能的收益影响较大,因此有必要根据储能参与调峰市场机制设计合理的储能在调峰市场的报价策略,以提高储能在电力市场的收益。

史沛然等^[6]、南国良等^[7]研究了储能参与国内调峰市场模式、规则设计与实践,验证了对新能源消纳的作用。在储能参与市场竞争方面,刘萌^[8]研究了电网侧储能参与现货联合市场的竞价策略,分析了储能在现货市场不同发展阶段时所采用的不同竞价模型。德格吉日夫等^[9]针对风储电站参与电力现货市场竞争与运行计划制定的问题,提出考虑不确定性的风储电站参与现货市场的竞价策略。王天梁^[10]针对电网侧储能参与调峰时的补偿机制和参与现货市场的竞价策略进行了研究。现阶段

对储能对调峰市场竞争策略及其收益分析的研究还较少。

在对国内储能参与调峰市场的出清机制和价格机制进行总结分析的基础上,结合广西调峰辅助服务市场分档出清方式,设计储能在调峰市场的4种不同的报价策略,并以广西历史调峰市场数据,测算不同报价策略下储能在调峰市场中的收益。

1 储能参与调峰市场的关键机制

目前,我国已有十多个地区和省市出台了调峰辅助服务市场运营规则,均允许储能以独立主体身份参与市场。各省储能参与调峰辅助服务市场的关键机制及主要区别在于竞价、出清以及定价机制。国内典型调峰市场的储能竞价、出清、定价机制见表1。

竞价机制为储能参与调峰市场的申报和竞争方式。在大多数调峰市场中,储能以充电方式参与调峰市场,申报充电价格,而部分调峰市场中储能减少充电电量也可作为调峰容量,如安徽。储能多与其他资源在调峰市场中同平台竞价,但河南限定储能只参与火电第一档辅助服务市场交易竞价,这将一定程度上降低储能参与调峰辅助服务市场的收益。

在出清机制方面,现阶段大部分调峰市场已不再采用分档出清方式,而按市场主体申报价格由低

收稿日期:2023-06-28

作者简介:祁乐(1987—),男,广西柳州人,广西电网电力调度控制中心,高级工程师,硕士,研究方向为电力辅助服务市场;郑文彬(1979—),男,福建闽清人,广西电网电力调度控制中心,高级工程师,硕士,研究方向为电网调度和电力市场;邹其(1993—),男,广西玉林人,广西电网电力调度控制中心,工程师,硕士,研究方向为电力现货市场、电网调度运行;宋吉峰(1988—),男,江西丰城人,广西电网电力调度控制中心,工程师,硕士,研究方向为电力现货市场和辅助服务市场;陈明媛(1983—),女,广西横县人,广西电网电力调度控制中心,高级工程师,博士,研究方向为电力市场分析和电力系统稳定控制;戴晓娟(1988—),女,福建龙岩人,北京清能互联科技有限公司,工程师,硕士,研究方向为电力市场及电力调度控制分析。

表 1 4 省份储能参与典型调峰市场的关键机制

省份	竞价机制	出清机制	定价机制
广西	充电电量为深调电量,储能申报充电量价曲线,与其他资源同台竞价	按储能报价及分档报价上下限,将储能报价分配到对应档位进行分档出清;在同一档位,储能与其他第三方独立主体享有优先出清权,第三方独立主体之间按报价由低到高依次出清	第一档储能价格为储能申报价格;第二档及以上档位储能价格为对应档位燃煤机组中标容量的加权平均成交价
河南	申报充电电量补偿价格,并限制储能报价上限为火电调峰第一档报价上限	不参与火电机组的分档出清;储能优先出清	价格上限为火电第一档调峰报价上限,结算价格为第一档调峰市场边际出清价格
安徽	日前储能申报充电/放电功率价格,与其他资源同平台竞价	不分档出清,报价相同时优先调用燃煤火电机组	采用市场边际统一定价机制
湖南	申报充电电量报价,与其他资源同平台竞价	不分档出清;储能可选择按价格排序调用或优先调用;若储能选择优先调用模式,即可优先出清	1. 选择按序调用:储能中标价格为其报价; 2. 选择优先调用:若储能申报价格低于市场实际调用最高价,则中标价格为其申报价格;若申报价格高于市场实际调用最高价,则中标价格为同时段市场最低价

到高排序进行市场出清。若调峰辅助服务采用分档出清,则需确定储能在哪个档位出清。广西按照储能申报价格与火电调峰分档申报上下限,将储能申报容量段归到对应出清档位中;河南将储能纳入火电第一档调峰市场中。此外,部分调峰市场还给予储能优先出清权,如广西、河南;安徽则规定在报价相同时,优先出清火电机组;湖南给予储能优先调度的选择权。

定价机制总体分为市场边际统一定价和按报价定价两大类,但针对储能,不同市场还设置了特殊的定价机制。广西储能第一档采用边际定价,其它档采用火电机组中标容量加权价格定价方式;河南储能按火电第一档市场的边际出清价格定价;安徽储能采用调峰市场边际统一定价方式;湖南储能定价机制与其选择的出清方式相关,若储能选择按序出清,则按市场边际统一出清价格定价,若选择优先调用,则需参考储能申报价格与市场出清价格来决定储能结算价格。

2 储能参与调峰市场的报价策略

储能在调峰市场的报价策略将极大影响其在调峰市场的收益,因此储能需根据调峰辅助服务市场规则对储能参与市场的规则,制定合理的报价策略,以最大化参与市场的收益。本节以分档出清的广西调峰市场为背景,分析储能参与调峰市场的各种报价策略。

按《第三方独立主体参与广西电力调峰辅助服务市场交易实施细则》规定,储能作为第三方独立主体采用“分组出清”模式与常规调峰电源(燃煤机组)同时参与深度调峰日前出清和日内出清。分组出清模式为常规火电机组的分档出清方式,并根据

储能报价,将储能报价容量段对应到常规机组调峰报价的不同档位中,参与不同调峰档位的出清。独立储能电站申报的运行在不同充电功率区间的单位调峰电量的价格,最多可申报 5 段,每段需申报充电功率区间起点、充电功率区间终点以及该区间报价,第一段区间起点从零开始,最后一段区间终点为其额定有功功率。报价曲线必须随充电功率增加单调非递减。每段报价段的长度不能低于额定有功功率的 10%。

在此背景下,根据申报容量和价格设计储能在调峰辅助服务市场的 4 种报价策略。

1)最理想的申报策略。按照一季度每日的燃煤调峰深度(最深档位),假设储能将所有容量全部申报在对应最深档位的价格组优先出清,获得最大收益。(即假设储能都能将充电量放在最深的调峰时段使用,获取最高价格)。该报价策略在实际储能参与调峰市场中,可操作性并不高,主要有两点原因:①无法准确预测每日调峰最深档位;②最深调峰档位可能其调峰电量会比较小,其收益可能会小于参与其他档位调峰所获得的收益。其优势在于,当储能调峰容量均可在调峰市场中不同档位出清时,在最深调峰档位可达到储能收益最大化的效果。

2)等比例分段报价。储能按容量的[0,20%]、[20%,40%]、[40%,60%]、[60%,80%]、[80%,100%]分别报在 5 个价格组;(注意:相当于先中标一部分容量,慢慢充着电,随着调峰缺口进一步扩大,中标容量不断增大,但有可能缺口还没变大就充满了,结合实际数据计算)。该报价策略的优势在于,不需要根据历史调峰情况进行报价策略的调

整,并且可在不同调峰档位中参与出清。其问题在于没有根据实际调峰需求情况,合理利用储能调峰资源,可能会造成储能调峰资源浪费,无法有效增加储能调峰收益。

3)保守报价策略。每天都报在第一价格组,不去冲高价,保量。该报价策略的优势在于,以一种较为保守的方式,保证储能参与调峰市场即可获得一定的收入。

4)根据不同档调峰电量按比例申报。根据一个月中各深度调峰档位的调峰电量,按比例分配储能的电量容量。该报价策略的优势在于,根据历史不同档位调峰电量的数据进行储能调峰电量的分配,更贴合实际的调峰需求情况,使得储能的调峰容量能够尽可能地与实际的调峰容量需求对应,增加储能在不同调峰档位出清的出清量,增加调峰收益。

3 储能参与调峰市场的不同报价策略分析

储能在做报价策略选择时,有必要先进行模拟收益测算,即根据历史调峰市场运行数据,计算在不同报价策略下储能参与调峰辅助服务市场中可获得的收益。储能参与调峰市场收益测算方法主要基于广西现有情况,设定一些假设条件,在较为理想的情况下,测算当储能参与调峰市场时可获得的收益。

3.1 测算条件及假设

以广西调峰辅助服务市场为测算背景,现阶段,共有储能机组 $50 \times 2 \text{ MW} \cdot \text{h}$ (最大充放电功率为 50 MW ,在最大功率下可持续 2 h),且目前主要的调峰资源为火电机组。在测算过程中,采用 2023 年 1—3 月 3 个月的调峰数据作为历史参考数据,进行储能参与调峰市场收益的测算。

在测算过程中,作出如下假设。

假设 1:只考虑储能参与调峰时的充电情况,不考虑放电计划,假定储能可自行安排放电,且在参与调峰前有充足的容量参与调峰。

假设 2:储能参与调峰市场不会令调峰市场出清价格发生变化。

假设 3:以每个调峰档位的平均调峰价格作为储能在该档位参与调峰时的价格。

假设 4:每日深度调峰的各档中,优先出清储能所申报的容量,若该档的调峰电量小于储能在该档的申报电量,则该档调峰电量全部由储能中标。

3.2 测算结果

以 2023 年 1 月 1 日调峰情况为例,调峰档位、

调峰电量、调峰均价见表 2。

此时,储能可参与调峰的总容量为 $100 \text{ MW} \cdot \text{h}$,各报价策略的报价情况如下。

1)策略 1:假定储能准确预测了当日调峰最高档位,因此其申报情况见表 3。

2)策略 2:储能采用等比例分段报价的方式,因此储能申报情况见表 4。

3)策略 3:储能采用保守报价策略,即只申报第一段调峰档位,储能申报情况见表 5。

4)策略 4:根据 1 月的各档位调峰电量情况,储能根据调峰档位电量比例进行申报其不同档位调峰容量,储能申报情况见表 6。

在这 4 种报价策略的基础上,各档位中储能优先出清,不同报价策略所对应的调峰收益计算方式及收益情况见表 7。

表 2 2023 年 1 月 1 日调峰情况

深度调峰交易时段	深度调峰档位	深度调峰电量/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	深度调峰平均价格/[$\text{元} \cdot (\text{MW} \cdot \text{h})^{-1}$]
2023-01-01	1、2	113 379.930 2	114.264 866 7
	1	113 338.53	95.767 225
	2	41.400 17	262.246

表 3 策略 1 申报情况

深度调峰档位	储能申报容量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)
1	0
2	100

表 4 策略 2 申报情况

深度调峰档位	储能申报容量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)
1	20
2	20
3	20
4	20
5	20

表 5 策略 3 申报情况

深度调峰档位	储能申报电量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)
1	100

表 6 策略 4 申报情况

深度调峰档位	深度调峰电量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)	储能申报容量/($\text{MW} \cdot \text{h}$)
1	17 518 974.68	69.51
2	6 785 126.295	26.92
3	8 974 28.532	3.56
4	272.467 02	0.001 08

基于上述计算方法,在1—3月的数据基础上,计算每日储能的中标情况及收益,并计算每月及第一季度的储能调峰收益总和。不同报价策略下的储能收益结果数据见表8。

从测算结果上看,在不存在充放电约束的条件下,100 MW·h的储能在第一季度可通过深度调峰市场获得最低30万元的调峰收益,在最理想情况下,可获得66万元的调峰收益。

表7 2023年1月1日储能按不同报价策略参与调峰收益计算方式及收益

报价策略	计算方式	收益/元
策略1	第二档调峰电量×第二档调峰均价	10.86
策略2	第一档调峰均价×20 MW·h +第二档调峰均价×第二档调峰电量	1 926.20
策略3	第一档调峰均价 DG12.577 mm100 MW·h	9 576.72
策略4	第一档调峰均价×69.51+ 第二档调峰均价×第二档调峰电量	6 668.09

表8 2023年1—3月不同报价策略下储能收益

月份	收益/元			
	策略1:最理想申报——全容量最深档位出清	策略2:等比例分段申报——每段20 MW·h	策略3:保守报价——均报第一段	策略4:按各档位调峰电量进行申报
1	255 377.16	175 846.78	157 694.20	233 074.87
2	314 058.15	142 964.09	109 203.93	151 813.39
3	92 369.82	72 022.28	33 107.96	62 464.00
总和	661 805.13	390 833.14	300 006.09	447 352.26

3.3 结果分析

从报价策略看,报价策略1要求储能所有电量都在最深档位出清,这种情况过于理想,不太适用于实际调峰申报。若采用这种申报策略,则博弈性过强,很可能会出现所有电量容量均不出清的情况,然而在理想情况下其收益是所有申报策略中最高的。报价策略2未考虑到各调峰档位调峰电量需求不一致的情况,当调峰深度到第二档及以上的时候,其收益可能会较高,但若是调峰需求只在第一档,其收益将远低于报价策略3和报价策略4。报价策略3较为保守,出发点是保证储能调峰电量的出清,这种情况下,若出现第二档及以上的调峰电量需求,则可能会使其收益较低,无法充分发挥储能的调峰资源。相比于报价策略2和报价策略3,报价策略4考虑当日各档位调峰电量比例对储能能在各档位调峰电量进行分配,更符合实际调峰需求情况,因此可获得更高的收益。

总体来看,报价策略2和报价策略3未考虑调峰市场运行情况,固化了储能申报方式,储能收益较不

稳定,受调峰市场实际运行情况影响较大;报价策略1下储能收益风险较高,若能预测准确调峰市场出清最高档位,则能获得较高收益,若不能准确预测,则可能出现储能收益为0的情况;报价策略4为最佳策略,建议储能根据历史及预测的各档位调峰电量比例,分配储能能在各档申报的容量,更能够体现出储能相应的调峰容量价值,获得更高的收益。

4 总结和建议

基于储能“报量报价”参与调峰辅助服务市场的背景,分析了现阶段国内储能参与调峰市场的出清和价格机制,并设定了4种不同的报价策略,测算了不同报价策略在现有广西调峰辅助服务市场中可获得的收益。

对于储能来说,其报价策略会直接影响到储能能在不同调峰档位中的中标情况,主要是中标档位、中标容量等。因此,建议储能根据历史调峰市场总容量需求、各档位出清容量,以及竞价日的低谷负荷情况,预测竞价日可能出清的调峰最高档位及各调峰档位的调峰容量需求,按策略4对自身能够提供的容量进行分档申报。在这种报价策略下,储能的调峰资源可以最大程度地被利用,获取较高的调峰辅助服务市场收益。

随着储能技术的发展和电力市场体系的完善,调峰辅助服务市场模式和储能参与该市场的方式、出清机制等也会不断地发展变化,在这一过程中建议:

1)市场运营机构在设计调峰辅助服务市场规则和储能参与市场模式,需考虑储能电能量受限的物理运行特性及成本运行特性,以设计适合储能参与的市场机制。

2)储能在设计市场竞价策略时,需充分了解市场规则,根据竞价日市场边界条件对市场进行准确预测,以设计可实现储能收益最大化的报价策略。

参考文献

- [1] 赵剑波,王蕾.“十四五”构建以新能源为主体的新型电力系统[J].中国能源,2021,43(5):17-21.
- [2] 喻振帆.浅析光伏发电接入对电网调峰的影响[J].广东科技,2017,26(12):57,67.
- [3] 元博,张运洲,鲁刚,等.电力系统中储能发展前景及应用关键问题研究[J].中国电力,2019,52(3):1-8.
- [4] 张志,邵尹池,伦涛,等.电化学储能系统参与调峰调频政策综述与补偿机制探究[J].电力工程技术,2020,39(5):71-77,84.
- [5] 袁红.东北区域储能调峰辅助服务经济性研究[J].中国电力企业管理,2021(22):47-50.

- [6] 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.
- [7] 南国良,张露江,郭志敏,等. 电网侧储能参与调峰辅助服务的交易模式设计[J]. 电气制造,2020,15(3):88-96.
- [8] 刘萌. 基于博弈论的电网侧储能参与现货联合市场竞争策略研究[D]. 郑州:郑州大学,2023.
- [9] 德格吉日夫,谭忠富,李梦露,等. 考虑不确定性的风储电站参与电力现货市场竞争策略[J]. 电网技术,2019,43(8):2799-2807.
- [10] 王天梁. 促进电网侧储能参与调峰的辅助服务补偿机制及竞价策略研究[D]. 郑州:郑州大学,2023.

Research on the Offer Strategy of Energy Storage Participation in the Deep Peaking Auxiliary Market

QI Le¹, ZHENG Wenbin¹, ZOU Qi¹, SONG Jifeng¹, CHEN Mingyuan¹, DAI Xiaojuan²

(1. Power Dispatching Control Center of Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530012, China;
2. Beijing Tsintergy Technology Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou 510000, China)

Abstract: The development of high proportion of new energy has promoted the scale application of energy storage in power system, and many provinces in China have built a peaking auxiliary service market to adapt to the participation of energy storage. The offer strategy of energy storage in the peaking market will affect its revenue in the power market. The clearing and price mechanism is analyzed of energy storage in the domestic typical peaking market. Based on the peaking auxiliary services in Guangxi with graded clearing, four quotation strategies of energy storage in the peaking market are designed. An example to compare and analyze the market revenue is constructed of energy storage under the four quotation strategies, and come up with a proposed scheme for energy storage quotation in the peaking market.

Keywords: energy storage; peaking market; clearing and price mechanism; offer strategy