

# 大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法研究

刘 淳<sup>1</sup>, 韩旭杉<sup>1</sup>, 张彦琪<sup>1</sup>, 申自裕<sup>2</sup>, 刘文颖<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网甘肃省电力公司, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>华北电力大学, 新能源电力系统国家重点实验室, 北京

收稿日期: 2021年11月25日; 录用日期: 2021年12月9日; 发布日期: 2021年12月24日

## 摘 要

现阶段大容量储能电站逐步并网, 对其采用削峰填谷的调控方式可有效促进受阻新能源消纳, 但大容量储能会产生充放成本, 亟需研究电价激励方法来提高其参与消纳的积极性。首先分析大容量储能参与受阻新能源消纳的技术经济可行性。其次基于电力辅助服务市场, 构建大容量储能电站与新能源发电企业之间的直接交易模式。再次考虑新能源发电企业的追加报价行为, 建立日前集中竞价日内调用的市场机制, 并提出大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法。最后通过算例分析验证所提方法的可行性。

## 关键词

大容量储能, 新能源消纳, 集中竞价, 市场机制

# Study on Centralized Bidding Method for Large-Capacity Energy Storage with Blocked New Energy Consumption

Chun Liu<sup>1</sup>, Xushan Han<sup>1</sup>, Yanqi Zhang<sup>1</sup>, Ziyu Shen<sup>2</sup>, Wenying Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou Gansu

<sup>2</sup>State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing

Received: Nov. 25<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 9<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 24<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

At the present stage, large-capacity energy storage power stations are gradually connected to the

文章引用: 刘淳, 韩旭杉, 张彦琪, 申自裕, 刘文颖. 大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法研究[J]. 智能电网, 2021, 11(6): 407-415. DOI: 10.12677/sg.2021.116039

grid. The use of peak-shaving and valley-filling regulation can effectively promote the absorption of blocked new energy sources, but large-capacity energy storage will result in charging and discharging costs, it is urgent to study the incentive method of electricity price in order to enhance the enthusiasm of its participation. Firstly, it analyzes the technical and economic feasibility of large-capacity energy storage participating in the absorption of blocked new energy. Secondly, it constructs a direct transaction model between large-capacity energy storage power station and new energy power generation enterprise based on the electricity ancillary service market. Thirdly, considering the additional bidding behavior of the new energy generation enterprises, the market mechanism of day-ahead centralized bidding is established, and the centralized bidding method of large-capacity energy storage is proposed. Finally, an example is given to verify the feasibility of the proposed method.

## Keywords

Large-Capacity Energy Storage, New Energy Consumption, Centralized Bidding, Market Mechanism

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着高比例新能源大规模接入电网, 常规电源占比下降, 电网调控能力有限, 导致新能源受阻现象凸显。目前我国逐步建立了多个大容量储能电站, 具有削峰填谷的特性, 可利用大容量储能来消纳受阻新能源。然而大容量储能参与消纳时会产生充放电等相关调控成本, 限制了大容量储能参与消纳新能源的积极性。因此, 建立相应的辅助管理市场和电价激励方法是大容量储能参与消纳行为得以实施的关键。

目前国内外关于储能参与消纳受阻新能源的经济行为研究主要集中在以下两个方面。在储能充放特性及调控成本方面: 文献[1]通过计算储能全生命周期度电成本, 提出了储能总成本计算方法; 文献[2]针对共享储能, 以成本最小和净负荷方差最小为优化目标, 获得最优充放电功率和对应的优化配置容量; 文献[3]分析了储能系统接入位置对运行成本的影响, 以运行成本最小为目标, 优化储能的最佳并网位置; 文献[4]提出了储能系统规划模型, 通过算例对储能系统进行了规划与分析, 有效降低了配电网综合成本。在储能参与辅助市场经济特性方面: 文献[5]分析储能充、放电深度对循环损耗成本和利润的影响, 提出一种储能竞价策略; 文献[6]建立了云储能租赁市场并提出了一种云储能租赁机制, 有效提升风储双方的收益; 文献[7]考虑不确定性问题, 提出了一种风储电站参与电力现货市场的竞价策略; 文献[8]采用双层 Stackelberg 博弈模型构建了储能电站参与现货联合市场的竞价策略; 文献[9]将风电、储能的协同运行问题建模为马尔可夫决策过程, 并提出一种改进动态规划算法; 文献[10]获得了风储系统在实时能量与调频市场的最优竞价策略。综合上述文献, 多从节约储能自身成本角度出发, 少有考虑新能源发电企业的消纳意愿及补偿作用, 因此亟需从市场经济层面出发, 研究大容量储能和新能源发电企业双方在消纳过程中的竞价方法。

本文针对受阻新能源的消纳问题, 从市场和经济层面出发, 将大容量储能作为一个独立主体参与收益结算, 将大容量储能纳入辅助服务市场, 构建储能与新能源之间的交易模式及市场机制。基于此, 研究提出一种储能参与消纳受阻新能源的集中竞价方法, 在促进新能源消纳的同时, 提升储能的经济收益。

## 2. 大容量储能参与受阻新能源消纳的技术经济可行性分析

### 2.1. 技术可行性分析

从技术层面分析,在等效负荷(负荷功率-新能源出力)低谷时期,储能充电相当于负荷,因此等效负荷曲线上移,使其高于常规电源调峰下限,即储能电站通过填谷的作用来消纳受阻风电。在等效负荷高峰期,储能放电相当于电源,因此等效负荷曲线下调,起到削峰的作用,如图1所示。储能参与调控后,可减少等效负荷峰谷差,具有消纳受阻新能源消纳的技术可行性。

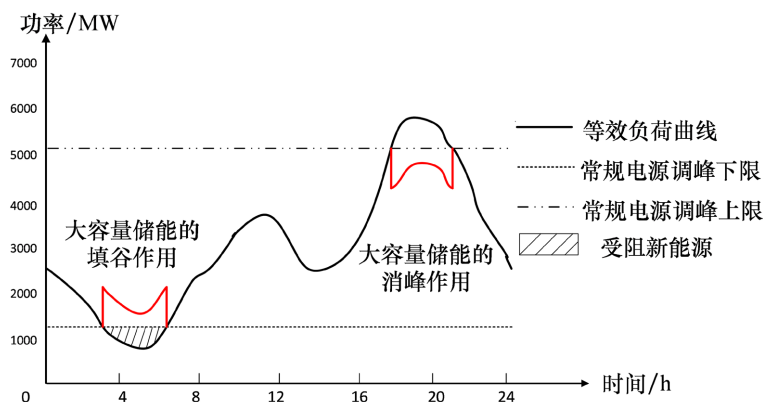


Figure 1. Mechanism of large-capacity energy storage for absorbing the blocked new energy sources

图1. 大容量储能消纳受阻新能源的作用机理

### 2.2. 经济可行性分析

从经济层面分析,传统方式下储能电站由电网公司或发电集团等企业投资,依托于所属主体对外结算,往往不进行独立的收益核算,缺乏储能电站专用的电价机制,无法提高储能参与新能源消纳的积极性和主动性。而大容量储能作为独立主体时具有独立运营权,通过合理的电价激励机制,使得大容量储能在消纳受阻新能源的过程中获得的电价补贴大于充放电调控成本,即可实现大容量储能总收益为正,从而具有消纳受阻新能源的经济可行性。

## 3. 大容量储能参与受阻新能源消纳的辅助服务市场及交易模式

### 3.1. 辅助服务市场

大容量储能在消纳受阻新能源过程中所涉及的市场主体及其职能如表1所示:

Table 1. The main body of the ancillary service market

表1. 辅助服务市场的主体

职能	主体
市场监管方	国家能源局监管办公室电力调度/交易中心
辅助服务需求方	新能源发电企业
辅助服务中间方	电网公司
辅助服务供应方	大容量储能电站

辅助服务市场原则如下：

大容量储能电站提供充放电服务后，新能源发电企业可以多消纳受阻电量，是受益的一方，而大容量储能电站产生充放成本等，应由新能源发电企业给予大容量储能电站经济补偿；若大容量储能电站不能按照约定提供充放服务，应缴纳违约金给新能源发电企业。

### 3.2. 交易模式

大容量储能参与消纳新能源的各主体相互关联，其信息交互方式主要有直接交互与间接交互，如图 2 所示：

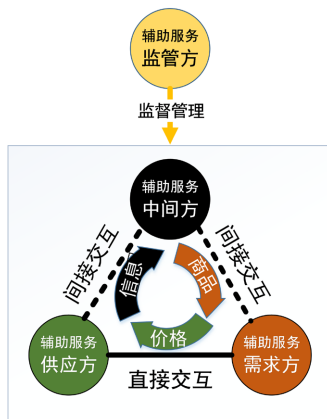


Figure 2. The interactive relationship between the participants in the ancillary service market  
图 2. 辅助服务市场参与主体交互关系

其中直接交互形式简单，定价灵活，适用于大容量储能参与受阻新能源消纳过程。此时，辅助服务供应方(大容量储能电站)与需求方(新能源发电企业)直接进行双边协商而达成共识，中间方(电网公司)不参与补偿定价过程，主要起到电能传递的作用。图 2 中商品是指“充电电量”这一特殊商品，价格是充电电量对应的激励电价，信息是指需求方的受阻信息及供应方的充放成本信息等。

基于直接交互形式及交互过程三要素(商品、价格、信息)，构建大容量储能参与消纳新能源的交易模式如图 3 所示：

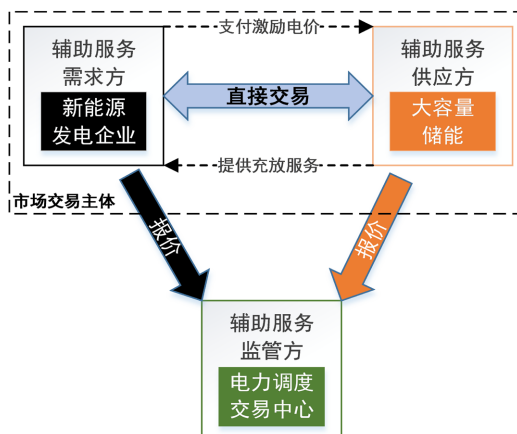


Figure 3. Direct trading model  
图 3. 直接交易模式

## 4. 大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法

### 4.1. 市场机制

根据图 3 所示直接交易模式，采用日前申报日内调用的方式，制定大容量储能参与受阻新能源消纳的市场机制，如图 4 所示：

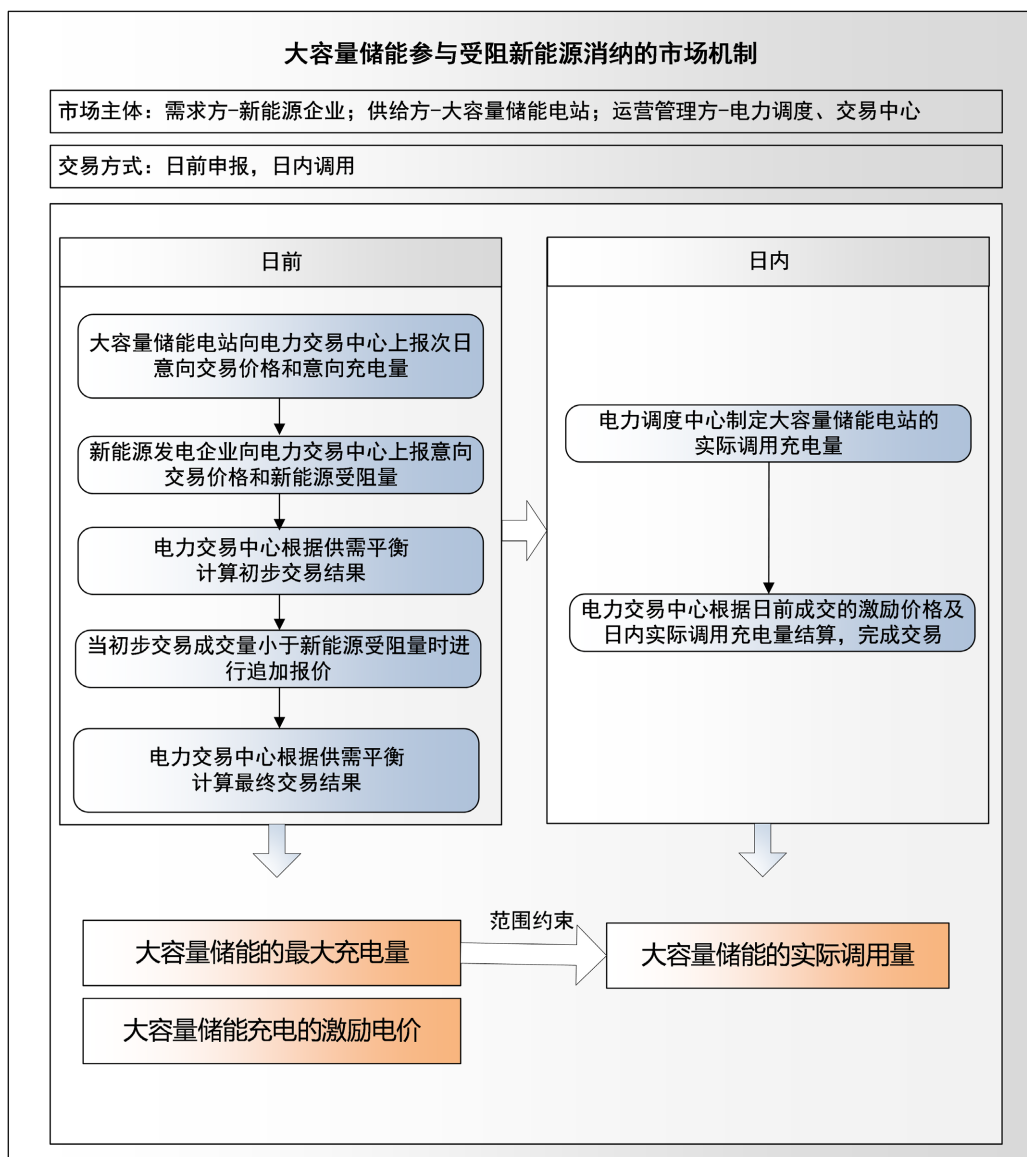


Figure 4. Market mechanism of large-capacity storage energy participating in absorption

图 4. 大容量储能参与消纳的市场机制

### 4.2. 集中竞价方法

根据图 4 所示的市场机制，形成大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法具体方法如下：

- 1) 日前申报并确定激励电价及最大充电量：
  - a) 每个工作日 18 时，先由  $N$  个大容量储能电站向电力交易中心上报，其中第  $n$  个大容量储能电站

上报的次日意向交易价格为  $C_n$ ，意向充电量为  $E_n$ 。按照  $C_n$  由小到大进行排列，绘制供应方的量价曲线  $L_0$ 。

b) 根据日前调度计划获得新能源发电企业的次日受阻电量  $E_M$ 。将  $E_M$  等分为  $M$  段进行申报，在规定的申报价格范围  $[C_{m,\min}, C_{m,\max}]$  内，等额差价申报，其中第  $m$  段的意向交易价格为  $C_m$ 。按照  $C_m$  由小到大进行排列，绘制需求方的量价曲线  $L_1$ 。

c) 需求方和供给方都申报完毕后，由电力交易中心汇总数据，绘制供需曲线  $L_0$  和  $L_1$  的交点  $Q_1$ ， $Q_1$  对应的横坐标即为大容量储能次日最大充电量  $E_{\max}$ 。

d) 当  $E_{\max} < E_M$  时，为了进一步消纳受阻新能源，需求方进行追加报价。在每段原有报价的基础上增加  $\Delta C_m = K(E_M - E_{\max})$ ， $K$  为价格系数，需求方的新报价变为  $C'_m = \Delta C_m + C_m$ ，从而获得需求方新的量价曲线  $L_2$ 。

e) 绘制供需曲线  $L_0$  和  $L_2$  的交点  $Q_2$ ， $Q_2$  对应的横坐标即为新能源发电企业追加报价后大容量储能次日最大充电量  $E_*$ 。

f)  $Q_2$  之前的申报量均可成交，新能源发电企业向大容量储能电站支付的激励电价(成交价格)为  $C_*$ ，且  $C_* = 0.3C_n + 0.7C'_m$ 。

2) 日内确定调用电量并进行结算：

a) 电力调度中心基于日内预测数据，制定大容量储能电站的实际调用充电量  $E_{real}$ ，且满足  $E_{real} \leq E_*$ 。

b) 按照成交价格由小到大依次调用大容量储能电站。

c) 由电力交易中心根据成交价格及实际调用量出清结算，新能源发电企业需向大容量储能电站支付金额  $R = E_{real} \cdot C_*$ ，完成交易。

## 5. 算例

以某含有大容量储能电站和大规模风电场的区域电网为例，该区域中共有 6 个大容量储能电站 B1~B6，风电场的总装机容量为 5000 MW。在冬季风力大发的运行场景下，选取典型工作日作为分析对象。

设定大容量储能电站按照充电能力上限申报，次日申报价格区间为 0.10~0.20 元/KWh。次日每个储能电站的意向交易价格和意向充电量如表 2 所示：

**Table 2.** Daily large-capacity energy storage declaration form  
**表 2.** 大容量储能日前申报信息表

大容量储能	申报充电量(MWh)	申报价格(元/KWh)
B1	80	0.10
B2	80	0.12
B3	160	0.12
B4	240	0.14
B5	240	0.16
B6	160	0.18

根据预测数据和调度计划，已知在次日新能源受阻量  $E_M$  为 960 MWh，新能源发电企业按照等分报价的原则，分为 6 段，每一段申报量均为 160 MWh，报价分别为 0.30, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10, 0.05 元/KWh。

交易中心绘制供需曲线如图 5 所示:

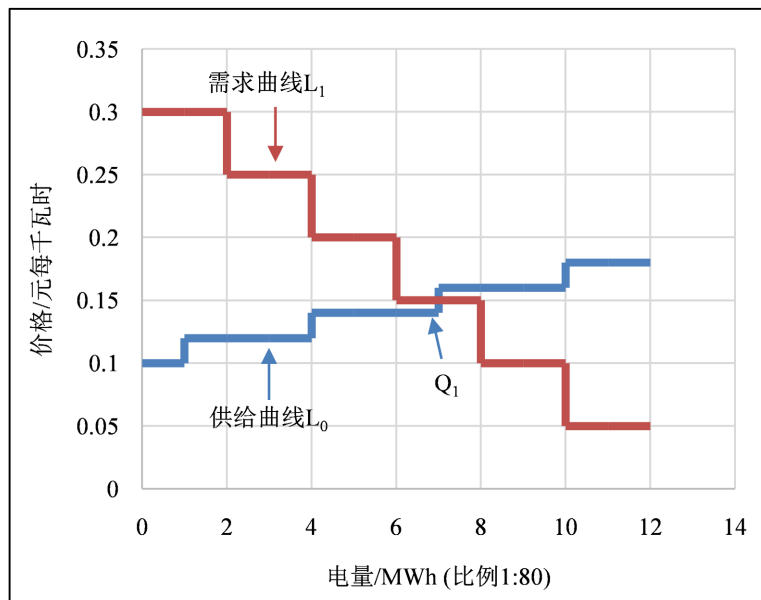


Figure 5. Graph of supply and demand

图 5. 供需曲线图

由图 5 可知, 此时  $Q_1$  点对应的大容量储能电站次日最大充电量  $E_{\max} = 560$  MWh, 小于  $E_M$ 。因此新能源发电企业进行追加报价, 此时取  $K = 0.125 \times 10^{-6}$ ,  $\Delta C_m = 0.125 \times 10^{-6} \times (960 - 560) \times 10^3 \approx 0.05$  元/KWh, 绘制追加报价后的需求曲线  $L_2$  及新的供需平衡关系, 如图 6 所示:

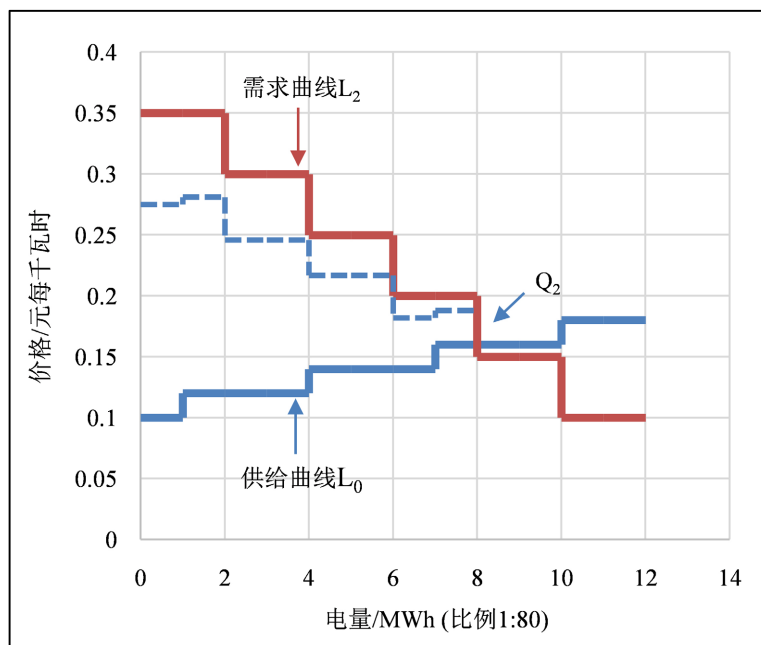


Figure 6. Chart of Supply and demand after additional quotation

图 6. 追加报价后的供需曲线图

由图 6 可知, 此时  $Q_2$  点对应的大容量储能电站次日最大充电量  $E^* = 640$  MWh, 表明追加报价后大容量储能电站成交的充电量增加了 80 MWh, 即可多消纳受阻新能源 80 MWh, 出清方式如图 6 中虚线所示, 出清价格及次日调用顺序如表 3 所示:

**Table 3.** Summary of the results of centralized bidding for large-capacity storage energy  
**表 3.** 大容量储能集中竞价结果汇总表

大容量储能编号	成交的最大充电量(MWh)	成交价格(元/KWh)	调用顺序
B1	80	0.275	5
B2	80	0.281	6
B3	160	0.246	4
B4	160	0.217	3
B4	80	0.182	1
B5	80 (160 未成交)	0.188	2
B6	未成交	未成交	未成交

由表 3 可知, B1~B4 的充电量全部成交, 其中 B4 分两种价格成交; B5 的充电容量部分成交, B6 未成交。

设定次日按照日前成交的最大充电量进行调用时, 新能源发电企业需分别向大容量储能电站 B1~B5 支付金额分别为 2.200, 2.248, 3.936, 4.928, 1.504 万元, 支付总额为 14.816 万元。

将本文所述方法与常用方法的出清价格进行对比。第一种采用的出清价格是供需曲线交点处供应方的申报价格; 第二种采用的出清价格是供需曲线交点处供需方的申报均价; 第三种采用的出清价格是供需双方高低匹配平均分配所得价格, 第四种是本文所述方法采用的出清价格, 竞价结果如表 4 所示:

**Table 4.** Summary of bidding results under four clearing modes (Unit: Yuan/KWh)  
**表 4.** 四种出清方式下竞价结果汇总表(单位: 元/KWh)

大容量储能编号	交点处供应方申报 价格出清方式 1	交点处供需申报 均价出清方式 2	高低匹配平均 出清方式 3	本文出清方式 4
B1	0.16	0.2	0.225	0.275
B2	0.16	0.2	0.235	0.281
B3	0.16	0.2	0.210	0.246
B4	0.16	0.2	0.195	0.217
B4	0.16	0.2	0.170	0.182
B5	0.16	0.2	0.180	0.188
B6	未成交	未成交	未成交	未成交

由表 4 可知: 出清方式 1 和 2 采用了统一出清方式, 而本文采用了非统一出清的方式, 差异化处理, 有利于申报价格较低的储能电站, 市场长期表现下可促进申报者趋于合理报价, 避免趋于高价策略; 出



清方式 3 采用了平均出清方式，而本文采用了有利于储能电站的 3:7 比例出清方式，方式 4 的出清价格均高于方式 3，提高了对储能电站的电价激励，提高了储能电站参与新能源消纳的积极性。

## 6. 结论

本文针对受阻新能源的消纳问题，从市场经济层面出发，提出了一种大容量储能参与受阻新能源消纳的集中竞价方法，结论如下：

1) 以大容量储能电站的充电量为交易商品，构建了大容量储能电站与新能源发电企业之间的直接交易模式，提出了一种考虑新能源发电企业日前追加报价的市场机制，采用了高低匹配撮合出清的方式。

2) 通过算例分析，与常用的单一报价方式相比，本文所提新能源发电企业二次追加的报价方式可有效提升大容量储能参与消纳的成交充电量，可更多地消纳受阻新能源；与常用的统一出清方式对比，本文所提的出清方式有利于储能电站合理报价；与常用的平均出清方式对比，本文所提的出清方式有利于储能电站，可提高储能电站参与消纳的积极性。

## 基金项目

资助项目：国网甘肃省电力公司科技项目“百兆瓦级储能电站分散接入新能源富集送端电网的调控技术研究及示范应用”(SGGSKY00WYJS2100226)。

## 参考文献

- [1] 文军, 刘楠, 裴杰, 徐若晨, 刘大为. 储能技术全生命周期度电成本分析[J]. 热力发电, 2021, 50(8): 24-29.
- [2] 李咸善, 解仕杰, 方子健, 李飞, 程杉. 多微电网共享储能的优化配置及其成本分摊[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(10): 44-51.
- [3] 杨昌海, 姜荫芮, 葛磊蛟, 刘永成, 杨婷婷, 王洲. 基于电网最低运行成本的储能装置最佳接入位置研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(2): 243-250.
- [4] 徐全, 袁智勇, 雷金勇, 林跃欢, 白浩. 考虑有源配电网综合成本的储能系统规划方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2020, 32(10): 117-124.
- [5] 李柯江, 宋天昊, 韩肖清, 张东霞. 计及电价不确定性和损耗成本的储能竞价策略[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(17): 52-59.
- [6] 张巍, 缪辉. 基于云储能租赁服务的风储参与能量-调频市场竞价策略研究[J]. 电网技术, 2021, 45(10): 3840-3852.
- [7] 德格吉日夫, 谭忠富, 李梦露, 杨莘博, 马佳乐, 谭清坤, 张晨. 考虑不确定性的风储电站参与电力现货市场竞价策略[J]. 电网技术, 2019, 43(8): 2799-2807.
- [8] 姜欣, 刘萌, 王天梁, 陈根永, 刘东. 电网侧储能电站参与现货联合市场的竞价策略[J]. 电网技术, 2021, 45(9): 3398-3408.
- [9] 王浩浩, 陈嘉俊, 朱涛, 吴明兴, 陈青, 朱建全, 刘明波. 计及储能寿命与调频性能的风储联合投标模型及算法[J]. 电网技术, 2021, 45(1): 208-217.
- [10] Xie, Y.Y., Guo, W.Q., Wu, Q.W. and Wang, K. (2021) Robust MPC-Based Bidding Strategy for Wind Storage Systems in Real-Time Energy and Regulation Markets. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 124.