

基于改进的电力现货交易下调度研究

樊国旗^{1,2} 樊国伟³ 刘昌东² 蔺红¹ 王吉利⁴ 刘瑞丰⁴ 程林⁴ 罗庆¹ 刘大贵^{1,3}

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 834200;

2. 国网浙江省电力有限公司金华供电公司, 浙江 金华 321001;

3. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011; 4. 国家电网公司西北分部, 陕西 西安 710048)

摘要: 电力现货交易可增加系统调峰能力, 从而有效减少新能源限电, 促进新能源消纳; 但现货交易中部分规定会导致参与成员缺少激励措施而降低参与意愿。基于“非价格歧视”理论对现货交易中自备电厂负荷、谷时段小工业负荷以及新加入采暖负荷机组现货交易成员进行扩展, 然后根据报出清顺序确定优先交易对象; 通过对比无现货交易、原现货交易和改进现货交易下新能源限电和现货交易下调度成本, 验证所提出改进现货交易调度方法的有效性。

关键词: 现货交易; 价格歧视; 激励机制

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)04-0015-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.04.004

Dispatching Research Based on Improved Spot Market

Fan Guoqi^{1,2}, Fan Guowei³, Liu Changdong², Lin Hong¹, Wang Jili⁴, Liu Ruifeng⁴,
Cheng Lin⁴, Luo Qing¹, Liu Dagui^{1,3}

(1. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 834200, Xinjiang, China;

2. State Grid Jinhua Electric Power Supply Company, Jinhua 321001, Zhejiang, China;

3. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830011, Xinjiang, China;

4. Northwest Branch of Sated Grid Cooperation, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

Abstract: Spot market can increase the peak shaving capacity of the system, which can effectively reduce new energy abandonment and promote the consumption of new energy. However, non-price discrimination in spot market can cause participating members to lack incentives and reduce their willingness to participate. In spot market, the self-owned power plant load, small industrial load during the valley period, and the spot market members of newly-added heating load units are expanded, and then the priority transaction object is determined according to the order of clearing. Dispatching costs under new energy curtailment and spot market verify the effectiveness of the proposed improved spot market dispatching method.

Key words: spot market; non-price discrimination; excitation mechanism

0 引言

新能源在促进可持续发展和低碳社会转型中发挥着重要作用^[1-2],但是由于新能源波动性对电力系统调峰带来了巨大的压力,导致了新能源限电^[3-4]。电力市场建设特别是现货交易开展可增加系统调峰能力减少新能源限电^[1,5-6]。

文献[7]设计了日内基于现货交易下的发电调

度系统。文献[8]设计了新能源富集地区可再生能源现货市场支持系统,从而促进新能源跨区消纳和资源配置能力。文献[9]在考虑多日负荷特性基础上基于市场化方式实现了多日机组组合和日前出清。文献[10]结合增量优化模式和全电量优化模式特点对中国电力现货市场发展提出了建议。

针对以上文献较少关注于现货交易环节中激励机制问题,下面基于“非价格歧视”对现货交易中环节进行改进,增加现货交易成员,解决现货交易成员因价格歧视导致积极性不足的问题。此外,现货交易成员增加可以增减系统调峰能力,减少新能源限

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(可再生能源发电基地直流外送系统的稳定控制技术 2017YFB0902000)

电。然后,通过新疆某地区实际算例对比无现货交易、原有现货交易和改进现货交易下的系统成本,验证改进现货交易下调度方法的有效性。

1 现货交易成员

目前现货交易包括火电机组深度调峰、自备电厂虚拟储能、小工业负荷(和自备电厂负荷产业相同,由于负荷较小无自备电源)用户侧调峰。这里将采暖负荷也考虑在内,对原有的现货交易成员进行补充。

1.1 火电机组深度调峰

火电机组通过深度调峰可以降低出力至最小技术出力之下,从而增大新能源消纳。火电机组参与深度调峰现货交易前后火电机组最小技术出力和新能源限电对比如图 1 所示。

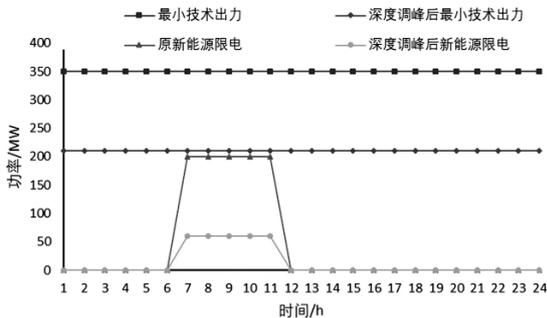


图 1 火电机组深度调峰参与现货交易

1.2 自备电厂虚拟储能

自备电厂虚拟储能通过增减火电机组出力或负荷参与现货交易。自备电厂减小出力(增大负荷)储存电能,可促进新能源消纳;自备电厂增大出力(减小负荷)释放电能,可减小系统非计划失负荷。自备电厂火电机组虚拟储能在最小技术出力和最大技术出力之间,不参与深度调峰。图 2 为自备电厂参与虚拟储能现货交易前后自备电厂出力和新能源限电对比,图 2 中自备电厂负荷未参与虚拟储能现货交易。

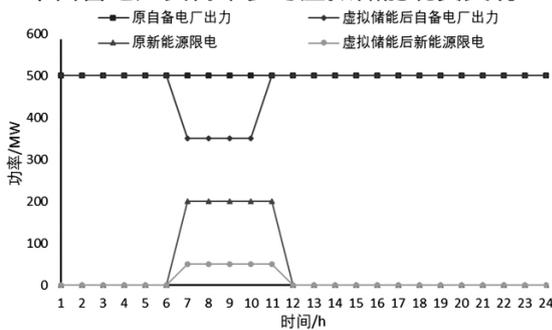


图 2 自备电厂虚拟储能参与现货交易

1.3 小工业负荷用户侧调峰

小工业负荷无自备电源,通常根据系统峰谷电价制定生产计划。目前,小工业负荷在峰电价时段参与用户侧调峰按照平电价结算,在平电价时段参与用户侧调峰按照谷电价结算。新疆峰电价时段为 10:00—13:00 和 19:30—0:30,平电价时段为 8:30—10:00 和 13:00—19:30,谷电价时段为 0:30—8:30。图 3 为小工业负荷用户侧调峰前后小工业负荷和新能源限电对比,图 3 中小工业负荷仅在 10:00—13:00 时段新能源限电时负荷侧调用参与现货交易。

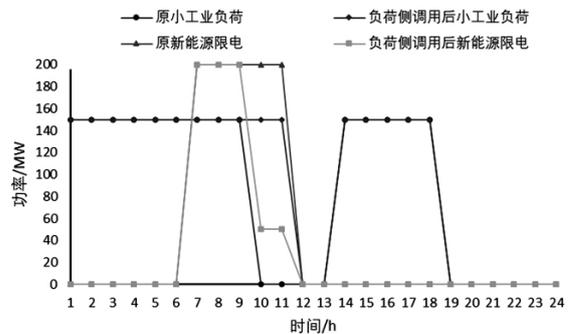


图 3 小工业负荷用户侧调峰参与现货交易

1.4 采暖负荷参与现货交易

目前现货交易成员中未包含采暖负荷,为促进新能源消纳,可将采暖负荷考虑到现货交易中采用供暖机组和电锅炉联合运行。当新能源限电时,可减小供暖机组出力并同等增大电锅炉功率,保持总供暖功率不变。图 4 为采暖负荷参与现货交易前后供暖机组出力和新能源限电对比。

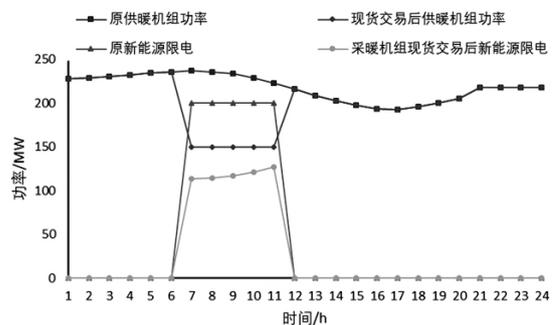


图 4 采暖负荷参与现货交易

2 现货交易成交顺序及改进

2.1 当前成交顺序

当计划不能满足新能源实时消纳需要开展现货交易时,各交易成员按照“集中竞价”方式进行;按照报价从低到高依次成交,报价成本在成交优先顺

序中起到决定性作用。假设没有激励的自备电厂负荷虚拟储能、小工业负荷谷电价时段和采暖负荷不参与现货交易,则现货成交顺序如图5所示。

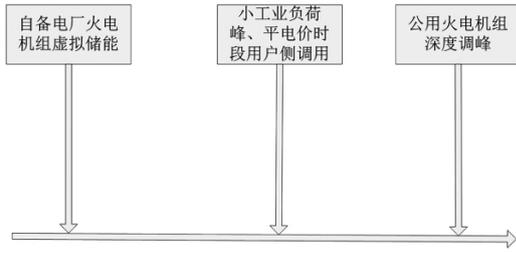


图5 现货交易成交顺序

2.2 改进后成交顺序

在小工业负荷用户侧调峰规定中,峰、谷、平电价时段固定,激励措施只在峰、平电价时段。在谷电价时段未有相应激励措施,不能激励小工业负荷谷电价时段负荷侧调峰的积极性。

自备电厂虚拟储能增减火电机组出力不能满足系统需要时,需要增减负荷。然而自备电厂负荷虚拟储能定价只有50元/MWh,产生“价格歧视”现象^[12]。“价格歧视”指面对不同对象提供相同等级和质量的商品但定价不同。

提出将小工业负荷用户侧调峰谷电价时段调用、自备电厂负荷虚拟储能、采暖负荷参与现货交易按照“非价格歧视原则”激励定价为152.5元/MWh,这个价格和小工业负荷用户侧调峰峰电价、平电价时段的激励定价相同。

通过上述改进后现货交易成交顺序如图6所示。

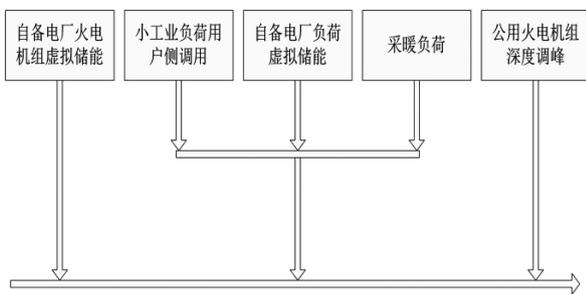


图6 改进后现货交易成交顺序

3 现货交易调度计划

3.1 目标函数

调度目标: 新能源限电量 $W_{n.a}$ 最小,即

$$W_{n.a} = \min \sum_{i=1}^T (P_{n.a} \cdot t) \quad (1)$$

式中 $P_{n.a}$ 为新能源限电功率。

新电源限电和现货交易总成本 C_s 为

$$C_s = C_{n.a} + C_{f.d} + C_v + C_1 + C_h \quad (2)$$

式中: $C_{n.a}$ 为新能源限电成本; $C_{f.d}$ 为公用火电机组深度调峰交易成本; C_v 为自备电厂虚拟储能交易成本; C_1 为小工业负荷用户侧调峰交易成本; C_h 为采暖负荷交易成本。

新能源限电成本为

$$C_{n.a} = \sum_{i=1}^T P_{n.a} \cdot t \cdot c_{n.a} \quad (3)$$

式中: $c_{n.a}$ 为新能源限电单位成本; T 为新能源限电时间。

火电机组深度调峰交易成本为

$$C_{f.d} = \sum_{i=1}^{T_1} P_{f.d,i} \cdot t \cdot c_{f.d,i} \quad (i=1, 2) \quad (4)$$

式中: $P_{f.d,i}$ 为公用火电机组参与深度调峰功率; $c_{f.d,i}$ 为火电机组深度调峰交易单位成本; $i=1, 2$ 分别表示1档深度调峰和2档深度调峰; T_1 为公用火电机组深度调峰时间。

自备电厂虚拟储能交易成本为

$$C_v = \sum_{j=1}^{T_2} P_{v,j} \cdot t \cdot c_{v,j} \quad (j=1, 2) \quad (5)$$

式中: $P_{v,j}$ 为自备电厂虚拟储能功率; $j=1, 2$ 分别表示自备电厂火电机组和负荷参与虚拟储能; $c_{v,j}$ 为自备电厂虚拟储能交易单位成本; T_2 为自备电厂虚拟储能时间。

小工业负荷用户侧调峰交易成本为

$$C_1 = \sum_{i=1}^{T_3} P_1 \cdot t \cdot c_1 \quad (6)$$

式中: P_1 为小工业负荷用户侧调峰功率; c_1 为小工业负荷用户侧调峰单位交易成本; T_3 为小工业负荷用户侧调峰时间。

采暖负荷交易成本为

$$C_h = \sum_{i=1}^{T_4} P_h \cdot t \cdot c_h \quad (7)$$

式中: P_h 为采暖负荷交易功率; c_h 为采暖负荷交易单位成本; T_4 为采暖负荷交易时间。

3.2 约束条件

1) 系统功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^N P_{f,i} + P_n = P_L - (P_v + P_1 + P_h) \quad (8)$$

式中: $\sum_{i=1}^N P_{f,i}$ 为火电机组总功率; i 为火电机组台数; P_n 为新能源功率; P_L 为系统负荷功率。

2) 火电机组约束

机组出力 $P_{f,i}$ 约束为

$$P_{fj}^{\min} \leq P_{fj} \leq P_{fj}^{\max} \quad (9)$$

式中: P_{fj}^{\min} 为第 i 台火电机组最小功率; P_{fj}^{\max} 为第 i 台火电机组最大功率。

爬坡约束为:

$$\frac{dT}{dt} P_f \leq R_{up}^{\max} \quad (10)$$

$$\frac{dT}{dt} P_f \geq R_{down}^{\max} \quad (11)$$

式中: $\frac{dT}{dt} P_f$ 为机组爬坡速率; R_{up}^{\max} 为机组最大上行爬坡速率; R_{down}^{\max} 为机组最大下行爬坡速率。

4 算例分析

4.1 地区情况

新疆某地区负荷、新能源出力如图7所示。非自备负荷为系统总负荷减去自备总负荷,非自备等效负荷为非自备负荷减去新能源功率。公用火电机组深度调峰负荷率为40%~50%时按照200元/MWh,负荷率小于40%时按照400元/MWh价格计算。峰电价为547.5元/MWh,平电价为395元/MWh,谷电价为242.5元/MWh,新能源限电成本为500元/MWh。

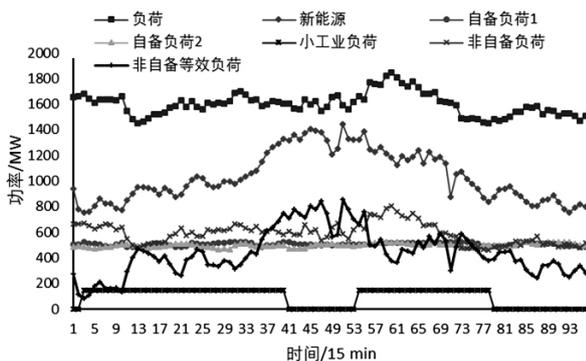


图7 负荷和新能源曲线

火电机组参数如表1所示,其中1-2为公用火电机组,3-4为自备负荷1机组,5-6为自备负荷2机组;自备电厂负荷1、2最大功率600MW,小工业负荷最大功率200MW,调用时间不受限制。

表1 火电机组参数

机组	最大功率 /MW	最大功率 /MW	上行爬坡约束 /MW	下行爬坡约束 /MW
1-6	300	150	90	90

4.2 现货交易效益研究

无现货交易、原现货交易和改进现货交易3种

方案为线性混合整数规划问题,采用lingo12计算。

无现货交易时功率分配如图8所示,小工业负荷和图7相同无变化,采暖负荷机组功率参考文献[12]。

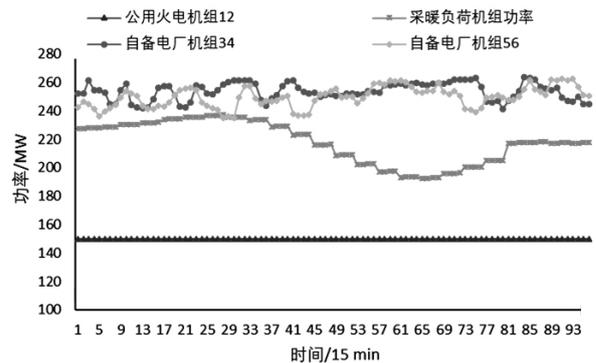


图8 无现货交易功率分配

由图8可知,自备电厂机组与采暖负荷机组有较大减少功率空间;由图7可知小工业负荷和自备电厂负荷具有部分增大功率空间,可减少新能源限电。

原现货交易下功率分配如图9,采暖负荷机组功率和图8相同。

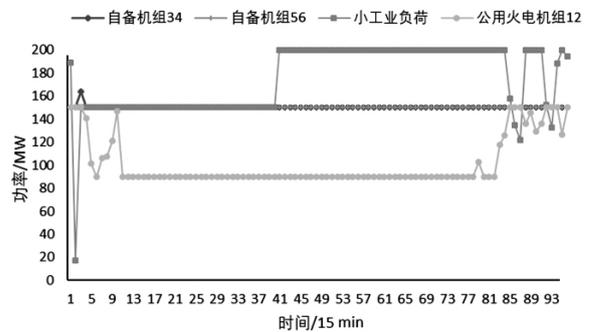


图9 原现货交易功率分配

改进现货交易下功率分配如图10所示,自备机组34与自备机组56功率和图9相同。

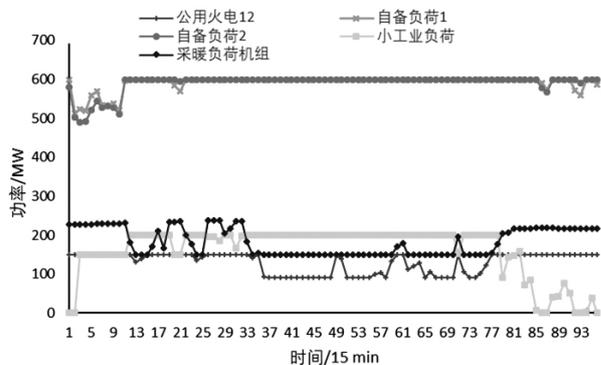


图10 改进现货交易功率分配

3种方案下新能源限电和调用如图11所示,无现货交易时无调用,图中未画出。

由图11可知无现货交易时新能源限电量为

17 840.6 MWh,限电成本为 892 万元;原现货交易新能源限电量为 3 906.7 MWh,限电成本为 195.3 万元;改进现货交易新能源限电量为 514.4 MWh,限电成本为 25.7 万元。

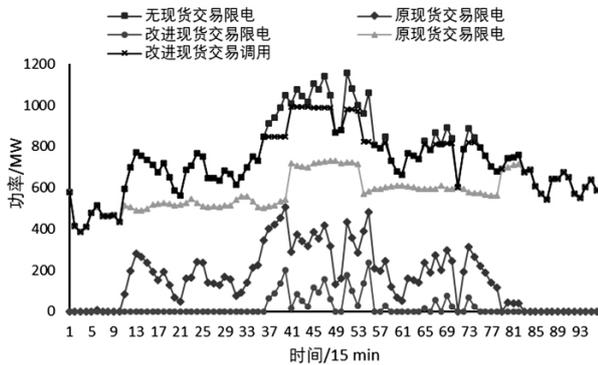


图 11 3 种交易方案下新能源限电

原现货交易和改进现货交易下现货交易对比如表 2 所示。

表 2 原、改进现货交易方式下交易对比

交易方案	自备机组 /MWh	自备负荷 + 小工业负荷 + 采暖负荷 /MWh	深度调峰 1 档 /MWh	深度调峰 2 档 /MWh
原方案	9 761.3	1 834.6	1 225.5	1 112.5
改进方案	9 761.3	6 564.0	566.8	434.2

通过表 2 数据按公式(2)可计算出原现货交易调用成本为 145.8 万元,改进现货交易成本为 177.6 万元;由图 11 和表 2 可计算出,改进现货交易总成本为 203.3 万元,相比原现货交易成本(341.1 万元)减少 137.8 万元,相比无现货交易成本(892 万元)减少 688.7 万元。

5 结 语

现货交易可有效促进新能源消纳,减少新能源限电,同时减少系统成本。

在原有现货交易基础上,加入新的(采暖负荷)交易成员,并按照“非价格歧视”原则对部分规则进行完善,从而客观上间接增加交易成员(小工业负荷谷时段用户侧调峰、自备电厂负荷参与虚拟储能)增加系统的调峰能力,减少新能源限电。

参考文献

- [1] 陈国平,梁志峰,董昱.基于能源转型的中国特色电力市场建设的分析与思考[J].中国电机工程学报,2002,40(2):369-378.
- [2] 樊国旗,蔺红,程林,等.基于K均值模式划分改进模糊聚类与BP神经网络的风力发电预测研究[J].智慧电力,2019,47(5):38-42.
- [3] 隋鑫,卢盛阳,苏安龙,等.计及风电和柔性负荷的核电多目标优化调度研究[J].中国电机工程学报,2019,39(24):7232-7241.
- [4] 张瑞山,袁琛,郑莆燕,等.火电机组参与风光消纳的问题分析及建议[J].上海电力学院学报,2019,35(6):539-543.
- [5] 国家能源局西北监管局.国家能源局西北监管局关于印发西北区域省间调峰辅助服务市场运营规则的通知[S].西安:国家能源局西北监管局,2020.
- [6] 陈皓勇.电力体制改革“不能唯现货论”[N].中国能源报,2019-04-22(004).
- [7] 袁贵川,李荣,李金龙,等.日内现货交易环境中智能发电调度系统的设计与实现[J].四川电力技术,2019,42(3):85-89.
- [8] 昌力,庞伟,严兵,等.可再生能源跨区现货市场技术支持系统设计[J].电力系统保护与控制,2019,47(9):158-165.
- [9] 杨辰星,程海花,冯树海.省级电力现货市场中衔接日前出清环节的多日机组组合策略[J].电网技术,2020,44(3):982-990.
- [10] 陈紫颖,荆朝霞,刘云仁,等.电力现货市场增量优化与全电量优化模式的比较[J].南方电网技术,2019,13(11):1-8.
- [11] 罗雨鹤.垂直一体化企业非价格歧视研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [12] 樊国旗,樊国旗,蔺红,等.基于弃风-热的采暖负荷的联合调度补偿方法研究[J].四川电力技术,2019,42(2):6-9.

作者简介:

樊国旗(1993),硕士研究生,研究方向为电力系统调度与新能源消纳。

(收稿日期:2020-03-18)