

# 基于配额制的自备电厂参与新能源消纳日前交易模式

赵磊<sup>1</sup>, 杨永利<sup>1</sup>, 张新伟<sup>1</sup>, 贺成铭<sup>1</sup>, 刘友波<sup>2</sup>

(1. 新疆电力交易中心有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 四川大学电气工程学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**国内风电和光伏等新能源发电迅速发展,而部分地区本地消纳和电网外送能力均有限,当地自备电厂未充分发挥调峰作用,出现日趋严重的弃风弃光现象,因此难以完成配额制目标。为利用市场手段充分调动当地自备电厂参与新能源消纳,促进新能源配额制目标的完成,同时避免因强行完成指标导致的社会整体消纳成本升高的问题,提出了一种基于竞价摘牌的新能源日前交易模式。通过具有引导效应的市场化手段,调动具备自备电厂用户的主动消纳意愿,进而提升配额制目标完成度,并降低整体消纳成本。最后,以新疆地区算例为例,分析验证了所提交易模式在提升配额制目标完成度及在尽量降低社会整体消纳成本方面的价值,为新疆等类似地区电力市场建设提供了一种新的思路。

**关键词:**配额制;自备电厂;新能源消纳;日前交易

**中图分类号:**TM732 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)03-0012-06

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20210303

## Day – ahead Trading Model for New Energy Consumption with Participation of Self – generation Power Plants Based on Renewable Portfolio Standards

Zhao Lei<sup>1</sup>, Yang Yongli<sup>1</sup>, Zhang Xinwei<sup>1</sup>, He Chengming<sup>1</sup>, Liu Youbo<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Power Exchange Center Co., Ltd., Urumqi 830011, Xijiang, China;

2. College of Electrical Engineering and Information Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

**Abstract:** There is a rapid development of domestic wind power, photovoltaics and other new energy power generation, but the local consumption and grid transmission capacity in some areas are limited, local self – generation power plants have not fully played the role of peak shaving, and the phenomenon of wind curtailment and photovoltaic curtailment is becoming more and more serious. So it's difficult to achieve quota targets. In order to use market means to fully mobilize local self – generation power plants to participate in new energy consumption and promote the completion of new energy quota targets, and at the same time to avoid the problem of increased social consumption costs caused by forcibly fulfilling targets, a day – ahead trading model of new energy is proposed based on bidding and delisting. Through market – oriented means with a guiding effect, the willingness of users with self – generation power plants is mobilized to increase the completion of quota targets and reduce overall consumption costs. Finally, taking Xinjiang region for example, the value of this transaction model in improving the completion of quota targets and minimizing the overall cost of social consumption is analyzed and verified, which provides a new way for the construction of power markets in Xinjiang and similar regions.

**Key words:** renewable portfolio standards (RPS); self – generation power plant; new energy consumption; day – ahead trading

## 0 引言

近年来,中国的风电和光伏装机容量迅速攀升,

成为全球第一大国。国内新疆地区的风电和光伏等可再生能源在当地占有较大比重,且逐年提升;但与此同时,风电和光伏出力的波动性和随机性较强,加之传统发电型式占比的下降给电网调节能力带来了

较大挑战,严重影响了风电和光伏的消纳,常常出现弃风弃光。因此,研究解决新疆地区等可再生能源大省的新能源消纳意义重大。

中国在2018年正式逐步实施国际上通常使用的可再生能源配额制(renewable portfolio standards, RPS),通过市场化、货币化的方式激励可再生能源发电的发展<sup>[1]</sup>。可再生能源配额制(简称配额制)实质是要求发电方和售电公司生产和销售的电能中,可再生能源必须占到一定比例,否则需购买高价绿色证书(green certificate, GC)。但当前仅对消纳主体和需要消纳的数量有较明确的规定,对配额制与不同交易市场的衔接没有详细规定,需要各地根据自身特点制定相应策略,因此有很大的研究价值与空间<sup>[2-3]</sup>。

同时,新疆地区具有相当规模的自备电厂,其整体装机容量与新能源的装机容量接近,但并没有发挥出应有的调峰作用。在电力供应不足的时代,自备电厂发挥了减少停电的作用,但目前电力供应充足,其不再发挥支援电网的作用。然而,自备电厂建设分散且单机容量较小,其作为调峰电厂具有较明显的成本优势,可以较好弥补新能源发电存在的“逆调峰特性”,进而达到共赢的目的。

目前,国内外关于配额制与自备电厂替代交易的研究主要集中在配额制顶层设计、绿证交易机制、对各类主体影响分析等方面<sup>[1-9]</sup>。文献[1]主要对中国正式实施的配额制,从顶层设计的角度进行了分析与科学阐释,并结合国内实际情况给出了建议。文献[4-9]主要对国内外新能源相关交易机制进行了分析,从顶层设计思路、分析模型、风险管理等多方面进行了研究,而后结合中国实际情况阐述了相关启示。文献[10]针对国内可再生能源消纳的问题,提出了一种国家与省级层面的可再生能源市场协调与偏差结算机制。文献[11]通过建立多寡头非合作博弈模型,提出了一种发电侧的可再生能源配额制及配套绿色证书交易机制,其特点是可最大程度保证绿色证书供需平衡。文献[12-14]通过建立相关的数学和经济学模型,研究了配额制对中国电源结构以及政策均衡性的影响,提出了中国可再生能源未来发展的定位和相关建议。文献[15]深入分析了可再生能源的正外部性效应,基于绿色电力需求和配额制的因素,建立了交易主体最优决策模型,探究了跨省区电力交易主体的最优决

策,使其利益最大化。综上,国内对配额制方面较少涉及到省内实施层,特别是深入结合如新疆等本地风电和光伏等新能源占比较大地区特点的配额制市场化交易机制。

针对新疆地区存在大量自备电厂,但风电和光伏等可再生能源消纳不理想的情况,下面从不同责任主体消纳能力与成本的差异出发,结合新疆电力市场已有的中长期交易基础,设计了一种以整体消纳成本最低为目标,基于新能源发电企业和具有自备电厂用户电力曲线匹配度的日前交易机制。首先,通过分析新能源消纳贡献度的配额指标分配模式,对匹配程度高的市场主体分配更多的新能源配额指标;然后,通过市场化的消纳量转让获得超额收益,兼顾双方利益,激励主体主动消纳,在提升整个消纳量的同时降低整体消纳成本,提高社会福利;最后,通过对设计的日前交易机制算例分析,表明所设计的机制可以在促进省内可再生能源消纳量的同时降低社会整体的消纳成本,具有较显著作用。

## 1 新疆现有替代交易情况

新疆地区发电侧不仅有比例较大的传统公用火电和水电,还有较大部分的企业自备电厂,截至2019年,其容量基本和疆内风电和光伏装机总容量接近,这也是疆内发电侧的特点。目前,新疆地区已经开展了新能源替代交易,但仍存在着较大的问题。

### 1.1 新疆发电侧基本情况

20世纪50年代电力供应紧缺,无法满足经济发展的需要,国家允许企业建立自备电厂以缓解用电需求<sup>[11]</sup>,特别是高耗能企业自备电厂较常见。截至2019年,新疆自备电厂数量超过30家,总装机容量约15 670 MW,超过全网装机容量的16%。2014—2019年,疆内风电和光伏总装机容量逐步提升,截至2019年,总装机容量约17 620 MW,约占18%,和自备电厂比例接近,整体情况如图1所示。

### 1.2 新疆自备电厂与新能源市场化现状

新疆自备电厂和新能源装机接近,是新疆开展新能源发电与燃煤自备电厂替代交易的基础。2016年,新疆下发《新疆区域新能源发电企业与燃煤自备电厂调峰替代交易实施细则(暂行)》,并开展了第一批新能源发电企业与燃煤自备电厂所属企业进

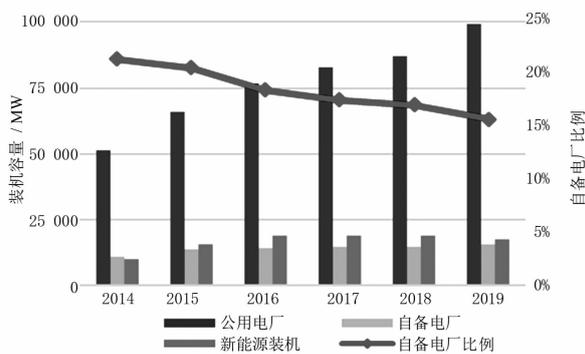


图 1 2014—2019 年新疆自备电厂与新能源装机情况

行电量置换交易的试点应用。这属于一种发电权交易模式,它利用新能源发电企业(renewable energy generation, REG)与自备电厂所属企业(简称 REG-SPP)进行电量置换,用市场化交易的力量来平衡各方利益,同时调动各参与方的积极性,挖掘燃煤自备电厂的调峰空间,增强电网的新能源消纳能力<sup>[16]</sup>。

目前新疆所组织的新能源替代燃煤自备电厂交易中,分别建立了“停备交易”和“旋备交易”两个序列,用来申报交易电量和价格。在配额制实施后,传统的停备和旋备方式在调度执行时与新能源出力受阻曲线的匹配程度无法量化。传统新能源替代交易是在新能源发生弃电时实施,按照新能源装机容量 100% 算作自备电厂消纳量。这对疆内其他责任主体来说有失公平,更无法调动各主体的积极性。届时新能源配额缺口将更大,必然导致其他责任主体通过新能源配额的二级市场或绿证交易市场去购买配额指标,造成整个社会消纳新能源的成本升高。同时,根据国家有关配额制的指标,从 2018 年至 2020 年新疆的可再生能源配额指标情况(如表 1 所示)来看,可以看出新疆全省新能源消纳责任指标完成缺口逐年增大,2020 年缺口将达到了 9135 GWh。因此,亟需通过市场化手段进一步提高新能源消纳能力。

## 2 带曲线匹配的新能源日前交易模式

目前,新疆弃风弃光严重,常规的电量交易无法满足配额制实施的要求;同时新能源消纳水平无法提高,反而还增加了全社会完成配额制的成本。疆内自备电厂年发电量占全社会用电量将近三分之一,而当前配额制是以传统电量置换为手段的电能新能源替代交易模式,未真实反映新能源消纳能力,

表 1 2018—2020 年新疆可再生能源配额指标

类别	2018 年	2019 年	2020 年
电网经营区售电量/GWh	107 200	120 800	132 400
自备电厂用电量/GWh	82 500	87 500	95 300
全社会用电量/GWh	264 700	287 800	314 400
非水配额指标/%	11.50	12	13
规定非水配额/GWh	30 400	34 500	40 900
指标完成情况/(+超额/-不足)	-38.73	-69.47	-91.35

难以适应配额制下新能源市场化交易,也未考虑市场主体消纳新能源的真实能力。为解决此问题,提出构建一种疆内新能源替代交易 2.0 模式,即考虑不同市场主体对新能源消纳的实际贡献度,建立基于新能源出力和消纳方负荷曲线申报的新能源替代交易模式,通过新能源企业挂牌而具有自备电厂的用户竞价摘牌的方式,以市场手段平衡多方利益,激励低消纳成本的用户主动消纳新能源,尽可能降低社会整体消纳成本。

对于新能源消纳响应能力强或者负荷曲线调整成本较低的自备电厂用户,可在市场中多摘牌取得更多可再生能源消纳量,超额完成的消纳量配额指标,通过二级市场转让可获得超额收益。在市场中,每个参与者都以自身利益最大化为目标,那么对于消纳能力不强或者自身负荷曲线调整成本高的市场主体,必然参与度不够高,但其可以向消纳能力强的用户直接购买。为此,这就需要一个本地化的交易市场,采用这种消纳匹配度更高的日前交易模式进行交易,可减少能源的远距离输送进一步降低消纳成本。让消纳可再生能源成本低的主体替代成本高的主体,后者再通过市场化的手段给前者一定补偿,这种以市场化交易形成的替代与补偿方式,能够达到社会付出成本最低而可再生能源消纳更高的目标。

### 2.1 带曲线匹配的新能源交易框架

电力交易机构负责组织新能源日前交易,与常规日前市场不同,新能源企业需要申报电力曲线(日内 12 h 的电量和价格),采取摘挂牌交易的模式,交易标的为新能源电能量和环保属性价值,交易机构根据摘牌用户自身的消纳匹配程度分配,为避免过度投机行为扰乱市场,交易双方成交合同需要

严格按照中标曲线物理执行。整体交易过程如图2所示,主要分为4个阶段:第1阶段为中长期交易;第2阶段为新能源日前交易;第3阶段为常规日前交易和实时现货交易;第4阶段为新能源二级消纳转让交易。

在第2个交易阶段,新能源企业可挂出多个价格不同的出力曲线包,供具有自备电厂的用户摘牌,用户侧确认后,双方即达成了带曲线的物理合约,其日前电量市场的所有中标曲线累加之后即为运行日的负荷需求曲线。需要注意的是新能源需申报运行日12h的电量和价格,自备电厂用户根据自身负荷调节水平进行确认摘牌,这样最大限度地使用户侧与新能源企业出力曲线互补匹配。

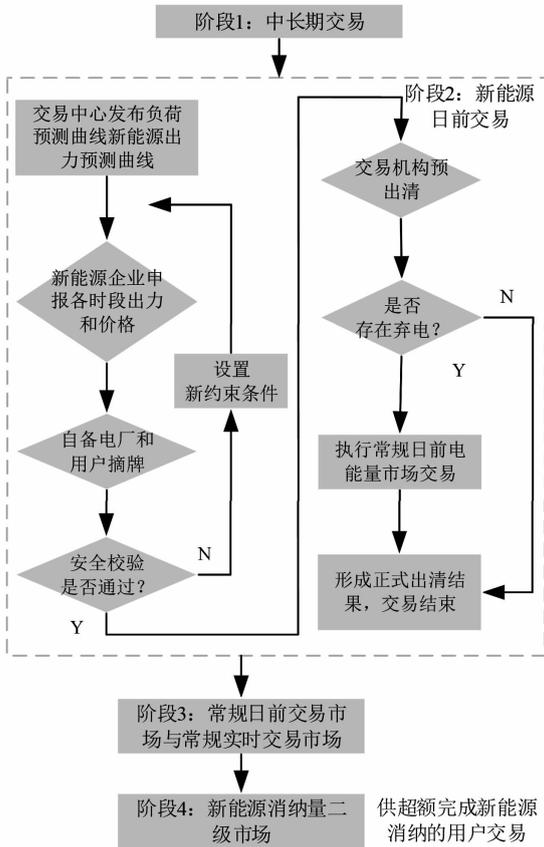


图2 新能源日前市场交易流程

### 2.2 带曲线匹配的新能源日前交易模型构建

假定疆内有  $n$  个新能源发电企业  $G_1, G_2, \dots, G_n$ , 第  $i$  个新能源企业第  $j$  个包的挂牌电量和电价序列分别为  $\{Q_{G_{ij}}(12), P_{G_{ij}}(12)\}$ , 为便于叙述这里省略括号内容, 简写为  $\{Q_{G_{ij}}, P_{G_{ij}}\}$ ; 同时假设疆内有  $m$  个具有自备电厂的用户  $U_1, U_2, \dots, U_m$  参与摘牌, 那么第  $k$  个用户摘第  $l$  个包的消纳电量和报价序列分别为  $\{Q_{U_{kl}}, P_{U_{kl}}\}$ , 最终成交的电量和电价序列分别

为  $\{Q_{D_{ijkl}}, P_{D_{ijkl}}\}$ 。

根据申报和摘牌结果, 交易机构依次对新能源企业每个包的摘牌情况进行统一出清, 交易机构对包  $j$  按照竞价申报的价格由高到低进行排序,  $\text{Sort}\{P_{U_{1j}}, P_{U_{2j}}, \dots, P_{U_{mj}}\}$ , 根据排序结果, 形成自备电厂用户和新能源企业之间的价差对  $P_{C_{ijkl}}$  为

$$P_{C_{ijkl}} = P_{U_{kl}} - P_{G_{ij}} \quad (1)$$

由于采用竞价的方式, 价差对  $P_{C_{ijkl}}$  必然大于等于0且也是按照价差的大到小的顺序排列, 交易机构优先撮合价差对大的用户成交, 成交量为用户申报的电量, 且成交价为

$$P_{D_{ijkl}} = (P_{U_{kl}} + P_{G_{ij}}) / 2 \quad (2)$$

类似的, 价差最大的用户成交之后, 若还有剩余电量, 那么对价差第二大的用户进行撮和成交, 直至该包全部成交完毕。产生的社会福利为

$$B_{G_{ij}U_{kl}} = \sum [(P_{U_{kl}} - P_{D_{ijkl}})Q_{U_{kl}} + (P_{D_{ijkl}} - P_{G_{ij}})Q_{U_{kl}}] \quad (3)$$

在社会福利最大化的同时, 新能源消纳成本低的自备电厂用户, 可以承受更高的竞价价格, 进而购买到更多的消纳电量, 既提升了新能源消纳量, 也达到了以市场交易手段降低社会整体消纳成本的目的。通过市场化引导, 将激励新能源消纳成本更低的自备电厂用户更多地参与消纳, 故所设计交易的目标函数为

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m B_{G_{ij}U_{kl}} \quad (4)$$

同时, 实现该目标函数的约束条件如下:

1) 新能源发电企业可以拆出不同出力组合的包, 同时自备电厂用户也可竞价摘牌多个新能源包, 但是, 新能源发电企业挂牌的包不能大于其最大出力限制, 自备电厂用户也不能超过其自身最大消纳能力, 即:

$$\sum_j Q_{G_{ij}} \leq Q_{G_{ij}}^{\text{lim}} \quad (5)$$

$$\sum_l Q_{U_{kl}} \leq Q_{U_{kl}}^{\text{lim}} \quad (6)$$

2) 新能源发电企业和自备电厂用户的挂牌价格和摘牌竞价的价格, 均不能超过交易中心规定的限价, 即

$$P_{\min}^{\text{lim}} \leq P_{U_{kl}}, P_{G_{ij}} \leq P_{\max}^{\text{lim}} \quad (7)$$

## 3 算例分析

目前, 新疆弃风弃光严重, 常规的电量交易无法

满足配额制实施的要求,同时新能源消纳水平无法提高,反而增加了全社会完成配额制的成本。为更清晰说明所提交易模式,现假设有一个新能源企业按其自身的发电特性将整个发电能力挂包出来(如表 2 所示),3 个具有不同负荷特性的自备电厂用户参与到新能源日前交易市场,其各自特点如表 3、表 4 所示。

表 2 新能源企业挂牌信息

时间	挂牌电量/MWh		挂牌电价/(元/MWh)	
	用户 A	用户 B	用户 A	用户 B
2	32		55	
4	28		55	
6	26		55	
8	20		70	
10	22		90	
12	21		90	
14	20		90	
16	20		90	
18	25		85	
20	33		75	
22	35		55	
24	37		55	
合计	319			

表 3 自备电厂用户申报信息

时间	申报电量/MWh			申报电价/(元/MWh)		
	用户 A	用户 B	用户 C	用户 A	用户 B	用户 C
2	20	16	7	56	55	55
4	18	12	4	58	56	55
6	16	11	1	57	57	56
8	17	5	5	73	72	70
10	13	6	8	93	92	91
12	15	6	7	93	92	91
14	14	5	9	92	91	93
16	14	4	8	92	91	90
18	18	10	4	87	86	86
20	22	14	2	78	75	77
22	26	14	3	60	58	57
24	28	15	2	57	56	56
合计	221	118	60			

自备电厂用户 A、B、C 拥有各自的负荷消纳特性,他们采用竞价摘牌的方式对新能源企业的挂牌的包进行竞价,其申购的电量和电价如表 3 所示。按照竞价摘牌的规则,在同一时间点竞价最高的用户优先匹配申报的电量,由此可得到市场模拟出清

结果如表 4 所示。

表 4 交易机构模拟出清结果

时间	成交电量/MWh			成交电价/(元/MWh)		
	用户 A	用户 B	用户 C	用户 A	用户 B	用户 C
2	20	12	0	55.5	55.0	55.0
4	18	10	0	56.5	56.0	55.0
6	16	10	0	56.0	56.0	55.5
8	17	3	0	71.5	71.0	70.0
10	13	6	3	91.5	91.0	90.5
12	15	6	0	91.5	91.0	90.5
14	14	5	1	91.0	90.5	91.5
16	14	4	2	91.0	90.5	90.0
18	18	7	0	86.0	86.0	86.0
20	22	11	0	76.5	75.5	76.0
22	26	9	0	57.5	56.5	56.0
24	28	9	0	56.0	55.5	55.5
合计	221	92	6			

从图 3 的模拟出清曲线可看出来,自备电厂用户 A 和 B 的电量出清结果与新能源出力挂包的电量曲线匹配度较高,这反映出其本身的负荷消纳特性与新能源电厂的出力特性更为匹配;同时由于其消纳新能源的成本更低,因此可以在交易市场中申报更高的价格,整体来看 A 和 B 的新能源中标消纳电量更多。对自备电厂用户 C 而言,其中标的新能源消纳电量更少,这反映的是其自身负荷特性与此新能源包的特性匹配度更差一些,对此新能源消纳能力较弱。

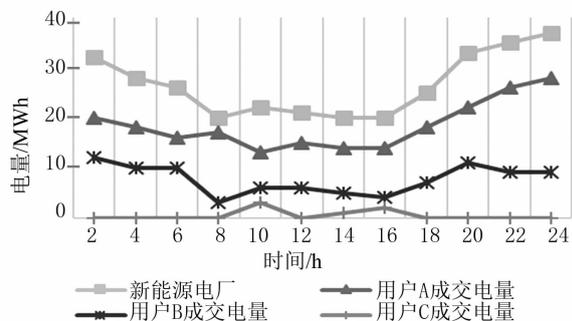


图 3 自备电厂用户模拟出清电量结果

通过新能源日前交易市场,发现了新能源消纳能力强以及消纳成本更低的自备电厂用户,提升了新能源消纳量。对于自备电厂用户 A 和 B 而言,他们获得了额外的新能源消纳量,超额完成配额指标,也可通过新能源消纳量二级市场转让超额消纳量,

以市场的方式将其对消纳新能源所做的贡献折现,也极大地调动了其新能源消纳积极性,从而提升新疆地区完成可再生能源配额制目标的程度。

根据前述交易福利产生的计算方法,可以得到本次新能源日前交易总成交电量为319 MWh,总成交额为22 517元,产生的社会福利为771元,产生的福利比率约为3.4%。起到了促进新能源消纳的效果,并且通过市场交易释放了一定的社会福利,反映的是新能源消纳成本更低的用户更多地参与到了消纳环节,进而可以使整个新疆地区的新能源消纳量得到提升,还降低了整体消纳成本,达到了设计此市场的初衷。

## 4 结 语

针对新疆地区新能源发电充沛,但目前存在较严重弃风弃光又无法完成地区新能源配额制目标的问题,提出一种基于竞价摘牌的新能源日前交易模式。通过市场化手段提升自备电厂用户的新能源消纳意愿,从市场角度发掘消纳成本更低的用户,达到降低社会整体消纳成本,提升新疆地区新能源消纳量的目的。得到结论如下:

1) 新疆地区新能源本地消纳能力受限,但疆内自备电厂与新能源装机容量大体相当,从整体上看,具备调动自备电厂承担调峰的巨大潜力。

2) 新能源日前交易模式是通过市场化的手段,激励与新能源出力特性互补、消纳成本更低的用户更多地参与消纳。

3) 竞价摘牌的模式可以较好地使消纳成本更低的自备电厂用户获得更多的新能源消纳占比,为新疆地区完成配额制指标提供一种新思路。

所提的交易机制并不适用于新能源消纳不受限的地区,其重点是对在新疆这种弃风弃光率较高且自备电厂容量相当的地区具有较大意义。未来,随着储能的快速发展,可研究探索储能服务在新能源消纳市场的新模式。

### 参考文献

[1] 赵新刚,梁吉,任领志,等. 能源低碳转型的顶层制度设计:可再生能源配额制[J]. 电网技术,2018,42(4): 1164-1169.

- [2] 王辉,陈波波,赵文会,等. 可再生能源配额制下跨省区电力交易主体最优决策[J]. 电网技术,2019,6(43):1988-1994.
- [3] 康重庆,杜尔顺,张宁,等. 可再生能源参与电力市场:综述与展望[J]. 南方电网技术,2016,10(3):16-23.
- [4] 邹鹏,陈启鑫,夏清,等. 国外电力现货市场建设的逻辑分析及对中国的启示与建议[J]. 电力系统自动化,2014,38(13):18-27.
- [5] 吴杨,刘俊勇,黄媛,等. 个体行为对发电权成交价格波动影响的分析模型[J]. 中国电机工程学报,2015,35(12):2968-2979.
- [6] 李东波,李凤婷,宋学强,等. 促进新能源消纳的自备电厂参与替代交易风险管理研究[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(11):30-36.
- [7] 史连军,周琳,庞博,等. 中国促进清洁能源消纳的市场机制设计思路[J]. 电力系统自动化,2017,41(24): 83-89.
- [8] 舒印彪,张智刚,郭剑波,等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报,2017,37(1):1-9.
- [9] 裴哲义,王彩霞,和青,等. 对中国新能源消纳问题的分析与建议[J]. 中国电力,2016,49(11):1-7.
- [10] 马子明,钟海旺,谭振飞,等. 以配额制激励可再生能源的需求与供给——国家可再生能源市场机制设计[J]. 电力系统自动化,2017,41(24):90-96.
- [11] 董福贵,时磊. 可再生能源配额制及绿色证书交易机制设计及仿真[J]. 电力系统自动化,2019,43(12): 113-121.
- [12] 王博. 基于市场机制的可再生能源发展政策的均衡分析[D]. 西安:西北大学,2010.
- [13] 冯天天. 可再生能源配额交易制对我国电源结构的影响机理研究[D]. 北京:华北电力大学,2013.
- [14] 李璐. 可再生能源发展政策影响的分析模型及实证研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.
- [15] 鲍海,艾东平,杨以涵,等. 远期与日前市场相结合的发电权交易模式[J]. 电网技术,2012,36(2): 264-270.
- [16] 周琳,付学谦,刘硕,等. 促进新能源消纳的综合能源系统日前市场出清优化[J]. 中国电力,2019,52(11):9-18.

### 作者简介:

赵磊(1984),男,硕士,高级工程师,主要从事电力中长期及现货市场研究工作。

(收稿日期:2020-12-30)