

1-14-2022

## Agent- based Research on Power Absorption Simulation Analysis of Renewable Energy

Zhang Luan

*College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;*

Zhengjun Luo

*College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;*

Dequn Zhou

*College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Agent- based Research on Power Absorption Simulation Analysis of Renewable Energy

## Abstract

**Abstract:** Aiming at the “three abandonment”, a guarantee mechanism for the consumption of renewable energy power is proposed in our country. *In order to stimulate the consumption of renewable energy power, a multi-agent simulation method is used to analyze the transaction behavior and interaction of market players, and the key factors affecting the consumption of renewable energy power is analyzed to simulated the consumption of renewable energy and the evolution of the number of active consumers.*

The results show that the subscribed green certificate can directly promote the consumption of renewable energy power, and it is necessary to comprehensively consider the price of excess consumption, the price of green certificates and the frequency of supplementary transactions to increase the consumption and ensure the healthy development of the country's renewable energy.

## Keywords

renewable energy, power absorption, simulation modeling, consumption transaction

## Recommended Citation

Zhang Luan, Luo Zhengjun, Zhou Dequn. Agent- based Research on Power Absorption Simulation Analysis of Renewable Energy[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(1): 170-178.

# 基于主体的可再生能源电力消纳交易仿真研究

张鸾, 罗正军, 周德群

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 211106)

**摘要:** 我国为解决“三弃”问题, 提出了可再生能源电力消纳保障机制。为激励可再生能源电力消纳, 采用多主体仿真方法, 分析了市场主体交易行为和交互关系, 剖析了影响可再生能源电力消纳的关键交互因素, 针对多种影响因素变动, 对可再生能源电力消纳情况和积极消纳者数量的演化进行了仿真实验。结果显示: 绿证被认购能直接促进本年可再生能源电力消纳; 想要加快可再生能源电力消纳需综合考虑超额消纳量价格、绿证价格和消纳量补充交易频率, 使我国可再生能源健康发展。

**关键词:** 可再生能源; 电力消纳; 仿真建模; 消纳量交易

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X (2022) 01-0170-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0662

## Agent- based Research on Power Absorption Simulation Analysis of Renewable Energy

Zhang Luan, Luo Zhengjun, Zhou Dequn

(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** Aiming at the “three abandonment”, a guarantee mechanism for the consumption of renewable energy power is proposed in our country. In order to stimulate the consumption of renewable energy power, a multi-agent simulation method is used to analyze the transaction behavior and interaction of market players, and the key factors affecting the consumption of renewable energy power is analyzed to simulated the consumption of renewable energy and the evolution of the number of active consumers. The results show that the subscribed green certificate can directly promote the consumption of renewable energy power, and it is necessary to comprehensively consider the price of excess consumption, the price of green certificates and the frequency of supplementary transactions to increase the consumption and ensure the healthy development of the country’s renewable energy.

**Keywords:** renewable energy; power absorption; simulation modeling; consumption transaction

## 引言

随着全球气候变暖问题日益严重, 世界各国纷纷调整自身的能源战略, 开发利用清洁的新能源, 增加可再生能源的比例。2012 年以来, 我国风电、光伏发电快速发展, 水电保持平稳较快发展, 可再生能源发电量占全部发电量比重从 2012 年的 20% 提高到 2018 年的 26.7%<sup>[1]</sup>。目前我国能源结构朝着

清洁化和优质化方向发展, 为我国经济快速发展提供了重要保障。

由于我国电力负荷的峰谷差较大, 在加快可再生能源开发利用的同时, 系统电源的灵活性不足, 能源资源呈现逆向分布的特征<sup>[2-3]</sup>, 水电、风电、光伏发电的送出和消纳问题开始显现。与此同时, 我国可再生能源发展的主要动力来源是装机补贴和固定上网电价等政策激励。这些激励政策短期内

收稿日期: 2020-09-04

修回日期: 2020-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(71573121); 中央高校基本科研业务费专项资金(NR2016016); 中央高校基本科研业务费专项资金(NJ20140028)

第一作者: 张鸾(1996-), 女, 硕士生, 研究方向为系统仿真。E-mail: luan\_zhang@126.com

通讯作者: 罗正军(1972-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为能源环境经济与政策。E-mail: andrewluo@nuaa.edu.cn

可以有效地刺激可再生能源的装机量, 促进可再生能源发展, 但由于对可再生能源持续发展的规律考虑不周, 带来“政策效率低下”、“补贴资金缺口大”和“消纳能力差”等问题<sup>[4-6]</sup>。

当前, 如何保障可再生能源电力消纳, 解决“三弃”问题成为关注重点。2019 年 5 月, 为激励可再生能源投资和消纳, 国家发改委能源局发布《关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知》。进一步落实了各省区的消纳责任权重, 明确了市场主要交易主体的消纳责任, 消纳义务重点从发电侧转向了消费侧, 标志着我国可再生能源的市场化消纳进入一个全新的水平。

世界各国对可再生能源的扶持政策一般分为价格驱动型 (feed-in tariff, FIT) 和配额驱动型 (renewable portfolio standards, RPS) 2 类。在形式上, 我国的可再生能源电力消纳保障机制与国外的可再生能源配额制及绿证交易机制相似。国外关于配额制的研究发现, 各国实施的 RPS 机制在配额目标、义务承担主体、配额分配机制、运行机制、罚金等机制主体设计都不尽相同<sup>[7-8]</sup>, 各国的实施效果及遇到的问题也不尽相同<sup>[9-11]</sup>。学者通过计量经济学等其他方法深入研究 RPS 设计细节及在各个国家或地区的实施效果<sup>[12]</sup>, 根据对国外配额制实施效果以及对电力市场影响的研究, 确定可再生能源配额制能够促进风电消纳和减少弃风率<sup>[13-15]</sup>, 为建立我国可再生能源电力消纳保障机制提供经验。从中国国情出发, 我国学者分析了在售电侧施行 RPS 的可行性及可能存在的风险<sup>[16]</sup>, 提出“绿证”制度对未来实施可再生能源配额制的影响<sup>[17]</sup>, 根据国外 RPS 实施经验对中国实施 RPS 机制的配额义务承担主体、交易机制、监管机构等方面进行了设计, 但没有形成确定的配额分配和绿色证书核发计算标准<sup>[18-19]</sup>。为解决现行的保障机制与现有电力市场体系衔接的问题, 左艺<sup>[20]</sup>在理论上构建了适应消纳保障机制的电力市场体系和衔接配合机制。黄龙等<sup>[21]</sup>探讨了可再生能源的市场出清模式和出清算法, 分析促进可再生能源消纳的需求侧灵活性机

制。张显等<sup>[22]</sup>构建了完善的超额消纳量交易市场体系, 并指出部署基于区块链的可再生能源消纳凭证交易系统, 对促进可再生能源消纳发展提出了针对性的建议。国内研究热点集中在国外经验介绍、政策效果和市场体系设计等定性研究上, 缺乏相应的量化分析。

本文构建一种在可再生能源电力消纳保障机制要求下可再生能源电力消纳交易仿真模型。考虑消纳主体的可再生能源电力消纳态度、消纳量交易频率和 2 类补充消纳量产品价格等因素的影响, 研究用该模型如何发挥可再生能源电力消纳保障机制的作用, 调动市场积极性, 提高可再生能源电力的利用率, 从而解决“三弃”问题, 促进可再生能源健康发展。

## 1 可再生能源电力消纳模型构建

为清晰地描绘可再生能源电力消纳责任主体的行为和属性, 更好地解决问题, 构建简化的可再生能源电力消纳模型, 根据文献[2, 22]提出的观点整合, 将设定以下的基本假设:

- (1) 仿真实验的基本参数以 2018 年相关电力报告为基础;
- (2) 将同一省级行政区域的消纳责任市场主体看为一个 Agent;
- (3) 超额消纳量交易采用双边协商的方式;
- (4) 根据电力市场中电力定价原则, 消纳者申报的超额消纳量转让价格采用“基准价+上下浮动”的方式定价, 上浮不超过 10%, 下浮不超过 15%。

### 1.1 模型的总体框架

采用主体的建模与仿真方法和效用理论, 构建可再生能源电力消纳交易模型。根据可再生能源电力消纳保障机制政策, 理清可再生能源电力消纳从权重制定到考核完成的保障流程, 如图 1 所示。

由此梳理了可再生能源电力消纳过程主体关系, 如图 2 所示。

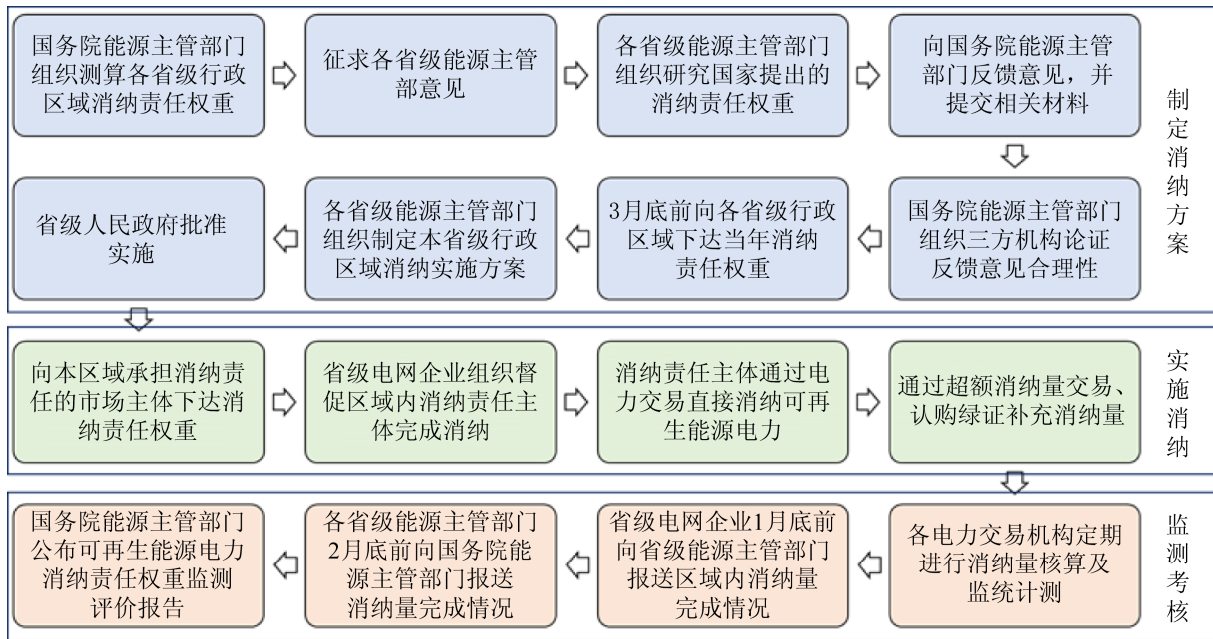


图 1 可再生能源电力消纳保障流程图

Fig. 1 Flow chart of renewable energy power consumption guarantee

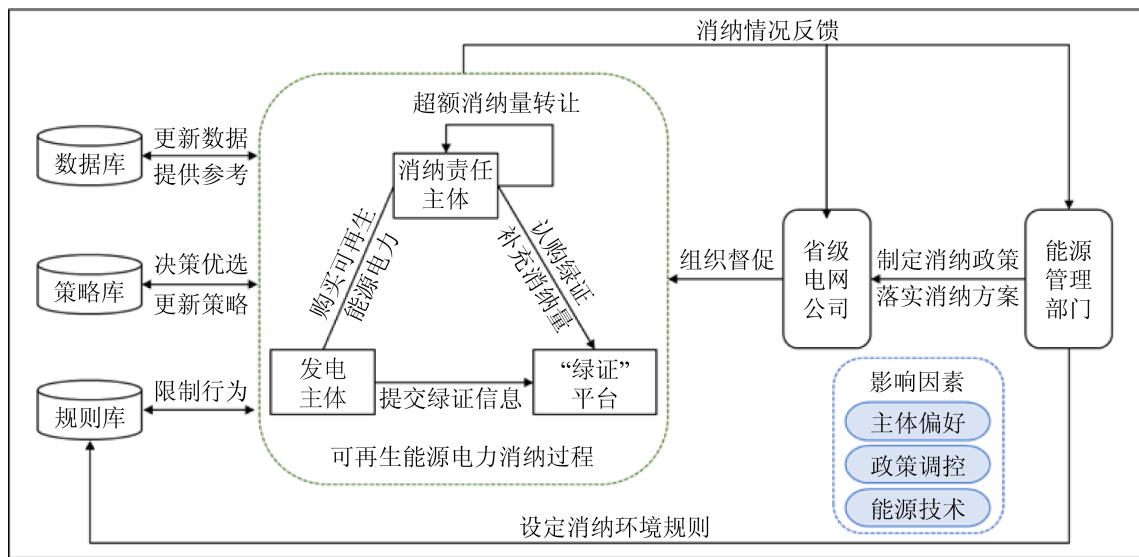


图 2 可再生能源电力消纳过程主体关系示意图

Fig. 2 Schematic diagram of subject relationship in process of renewable energy power consumption

图 2 中消纳责任主体, 通过策略库选择最优的消纳量补充方式以及消纳态度; 规则库用于限制消纳量交易中各主体的交易行为。

通过可再生能源电力消纳保障流程和消纳过程主体关系, 理清了消纳者 Agent 完成消纳指标的过程逻辑: 消纳者 Agent 对消纳环境中的电力进行

消纳, 每个 Agent 根据自身消纳水平和消纳态度决定用电总量和可再生能源电力用电量, 若当前时间为消纳量补充交易时间, 未完成消纳责任权重的主体通过购买超额消纳量或认购绿证的方式, 进行消纳量补充交易, 完成消纳指标。由此设计了图 3 所示的仿真系统主体算法框架。

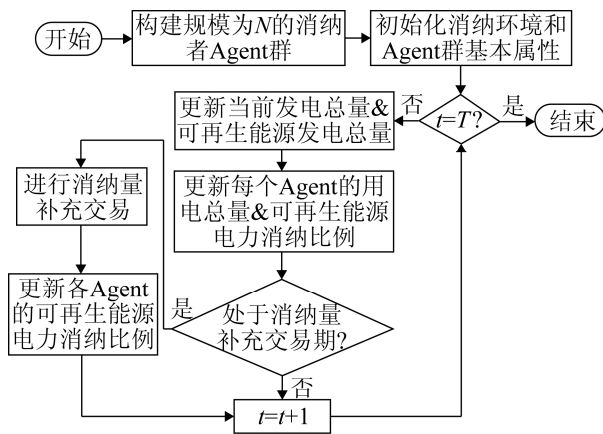


图 3 可再生能源电力消纳主体算法流程图

Fig. 3 Main algorithm flow chart of renewable energy power consumption

## 1.2 消纳环境模型

可再生能源电力消纳环境具有多种属性,其属性集为  $S_e = \{N, q_t, q_t^{rel}, p_{gc}, s, f, R\}$ 。其中,  $N$  为消纳者的规模;  $q_t$  为  $t$  时间的发电总量;  $q_t^{rel}$  为  $t$  时间可再生能源电力的发电总量;  $p_{gc} \in [0, +\infty]$  为绿证价格;  $s \in [0, 1]$  为消纳环境对可再生能源消纳的支持度,  $s$  值越高消纳环境内主动消纳可再生能源电力的 Agent 数量越多;  $f$  为消纳量补充交易频率, 表示每年进行  $f$  次消纳量补充交易;  $R$  为可再生能源电力利用率, 表示整个环境的可再生能源电力消纳能力,  $R$  越大表明消纳能力越强按照式(1)计算:

$$R = \frac{\sum_1^t q_t^{rel}}{\sum_1^t A_t^{rel}} \quad (1)$$

式中:  $A_t^{rel}$  为  $t$  时间可再生能源电力消纳总量。

消纳环境中积极消纳电力的 Agent 数量  $n$ , 是消纳者规模  $N$  与支持度  $s$  乘积的整数:

$$n = \lceil s \cdot N \rceil \quad (2)$$

## 1.3 消纳者 Agent 模型

### 1.3.1 消纳者 Agent 的状态

消纳者 Agent 在进行电力消纳时可能处于 2 种状态, 即积极状态和消极状态。积极状态指对可再生能源电力消纳采取积极态度超额消纳, 消极状态则相反。假设积极状态的消纳者不会变动, 消极状

态的消纳者在进行消纳量补充交易后会根据收益状况考虑调整自身下一周期的消纳态度, 由消极状态变为积极状态。

### 1.3.2 消纳者 Agent 的属性

每个消纳者的内部特征由于所处地区的经济水平、可再生能源电力生产能力以及个体属性的不同而存在较大差异, 因此消纳者 Agent 的模型定义也会有所区别。本文将每个承担消纳责任的主体定义为一个 Agent, 其属性集为  $S_p = \{D, W, a_t, r_t, I_t, W_t\}$ 。其中,  $D \in \{-1, 1\}$  为消纳者 Agent 对可再生能源电力的消纳态度,  $D = -1$  时采取消极态度,  $D = 1$  时采取积极态度;  $W$  为消纳者 Agent 应完成的消纳责任权重;  $a_t$  为  $t$  时间电力消纳总量;  $r_t$  为  $t$  时间可再生能源电力消纳能力, 受到消纳状态的影响;  $I_t$  为  $t$  时间消纳者的收益;  $W_t$  为  $t$  时间可再生能源电力消纳实际权重。

$$r_t(D) = \alpha + D\omega_t \quad (3)$$

式中:  $\alpha \in (0, 1)$  为可再生能源电力消纳基础比例;  $\omega_t \in (0, 0.02)$  为  $t$  时间积极消纳者根据自身情况主动多消纳的可再生能源电力比例。

$$I_t = r_t a_t (p_s - p_{rel}) + (1 - r_t) a_t (p_s - p_{el}) - a_t c \quad (4)$$

式中:  $p_s$  为电力的销售价格;  $p_{rel}$  为可再生能源电力的上网价格;  $p_{el}$  为火电的上网价格,  $c$  为电力输配的成本。

$$W_t = \frac{\sum_1^t (r_t a_t)}{\sum_1^t a_t} \quad (5)$$

### 1.3.3 消纳者 Agent 的行为

当  $t$  处于消纳量补充期时, 消纳者 Agent 根据前期可再生能源电力消纳情况进行消纳量补充交易。消纳者 Agent 因状态不同其行为存在差异, 积极消纳者 Agent 上报超额消纳量  $q_o$  和超额消纳量转让价格  $p$ :

$$q_o = (W_t - W) \sum_1^t a_t \quad (6)$$

$$p = p_t (1 + \beta) \quad (7)$$

式中:  $p_t$  为超额消纳量转让基准价;  $\beta \in (-0.15, 0.1)$  为浮动情况。

积极消纳者 Agent 在消纳量补充期的收益为

$$I_e = pq'_o \quad (8)$$

式中:  $q'_o$  为转让的超额消纳量。

消极消纳者 Agent 有 2 种行为, 选择购买超额消纳量或选择购买绿证。它的行为方式由支出  $E$  决定, 行为规则可定义为选择支出最少的消纳量补充方式:

$$E = pq'_o + p_{gc} \cdot q_{gc} \quad (9)$$

式中:  $q_{gc}$  为购买绿证的数量。

消纳量补充交易期间, 已完成消纳权重的 Agent  $k$  上报  $q_o$  和  $p$ , 未完成权重的 Agent  $j$  选择最小支出的消纳量补充方式, 若实际支出  $E$  大于可接受的阈值, Agent  $j$  的消纳态度将转变为积极态度。由此设计了图 4 所示的消纳量补充交易算法框架。

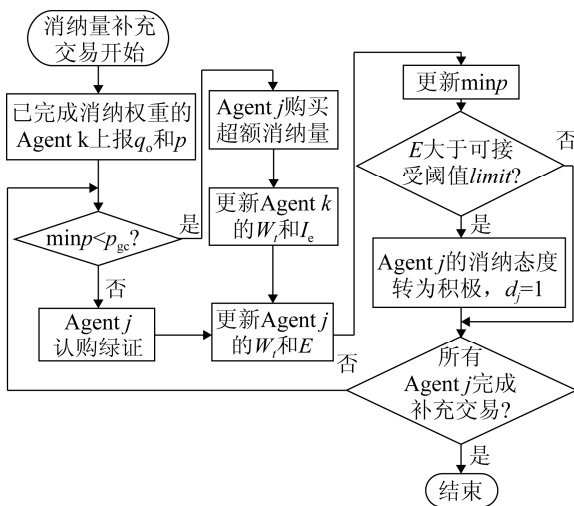


图 4 消纳量补充交易算法流程

Fig. 4 Flow chart of consumption replenishment trading algorithm

## 2 实验设计

根据基本假设、现实情况及行为规则完成主体的交互行为。主体会吸取经验并进行学习, 然后修正属性来适应环境。通过调整模型的可变参数, 探究不同实验场景下消纳主体的行为变化以及对可再生能源电力消纳的影响。

### 2.1 实验场景设计

根据可再生能源电力消纳市场主体的行为规

则, 得到在可再生消纳保障机制下, 可再生能源电力消纳情况受到 3 种因素影响: 超额消纳量转让价格、绿证价格、监督力度。针对以上 3 个方面的影响, 设定 3 个实验情景:

场景 1: 超额消纳量转让价格受到基准价影响, 因此将调整超额消纳量转让基准价  $p_r$  作为实验场景 1;

场景 2: 调整绿证价格  $p_{gc}$ ;

场景 3: 监督力度不容易量化, 可通过变动消纳量补充交易的频率  $f$  的方式进行研究, 因此将调整消纳量补充交易频率为实验场景 3。

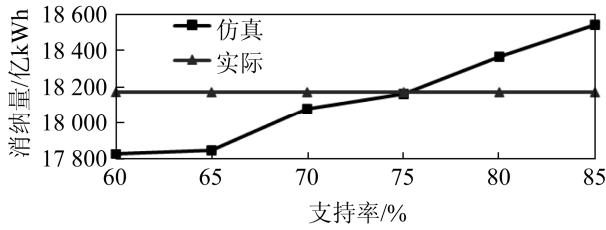
### 2.2 基本参数

模型的基本参数参照国家能源局发布的 2018 年电力相关报告<sup>[1,23]</sup>, 初始化发电总量  $q_t$ 、可再生能源电力的发电总量  $q_t^{rel}$ 、各主体的可再生能源电力消纳基础比例  $\alpha$ 、政策规定的消纳责任权重  $W$ 。仿真模型其他参数初始值如表 1 所示。

表 1 模型参数初始值表

Table 1 Model parameter initial value table		
参数	含义	数值
$N$	消纳者 Agent 数量	31
$p_s$ (元/mWh)	电力的销售价格	599
$P_{rel}$ (元/mWh)	可再生能源电力上网均价	406
$P_e$ (元/mWh)	煤电上网均价	371
$c$ (元/mWh)	电力输配的成本	21
$limit$	交易支出比例的阈值	0.015
$T$	仿真周期	12

为检验仿真模型的有效性和参数设置的合理性, 对 2018 年模拟仿真可再生能源电力消纳和实际消纳情况进行对比, 进行数值与趋势一致性分析。2019 年 6 月国能发新能(2019)53 号文<sup>[1]</sup>, 2018 年可再生能源电力实际消纳量为 18 158.97 亿 kWh, 7 个省未达到最低消纳责任权重。如图 5 所示, 当支持度  $s$  为 75% 时, 消纳可再生能源电力共 18 147.56 亿 kWh, 消纳环境内有 8 个消极消纳者, 基本符合实际情况。

图 5 支持度  $s$  对可再生能源电力消纳的影响Fig. 5 Impact of support  $s$  on consumption of renewable energy

在  $s=75\%$  的基础上, 仿真 2018 年各月可再生能源电力消纳演化趋势, 如图 6 所示, 与实际消纳趋势吻合, 模型是可信的, 因此将后续仿真实验中参数  $s$  均设为  $75\%$ 。

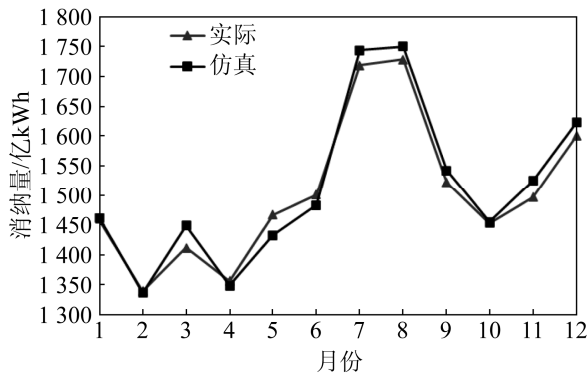


图 6 2018 年可再生能源电力消纳演化过程

Fig. 6 Evolution process of renewable energy power consumption in 2018

### 3 实验结果分析

#### 3.1 场景 1: 调整超额消纳量转让基准价

根据 2019 年 5 月 10 日发改能源〔2019〕807 号文规定<sup>[23]</sup>, 可再生能源电力消纳责任权重为年度考核, 超额消纳量交易价格由交易双方自主协商。该情境下消纳量补充交易频率  $f=1$ , 绿证价格设为当前绿证交易市场最低的价格  $p_{gc}=121$ , 设计超额消纳量转让基准价  $p_r$  为 50, 60, 70, 80, 90, 100 元的 6 种实验情景, 模拟可再生能源电力利用率  $R$  和消纳量补充后积极消纳者人数  $n$  的变化, 仿真结果见表 2。

超额消纳量转让基准价  $p_r$  的提高会使更多的 Agent 成为积极消纳者, 对下一年的可再生能源电

力消纳有促进作用。而  $p_r$  的变化并没有影响本年的可再生能源电力利用率  $R$ , 是因为超额消纳量交易是消纳量的内部转移, 并没有额外的消纳量产生。究其原因发现, 由于绿证价格一直大于超额消纳量转让价格, 绿证市场并没有进入消纳量补充交易的过程。

表 2 场景 1 的仿真结果

Table 2 Simulation results of scenario 1

$P_r$ /(元/mWh)	$R$ %	$N$ (个)
50	97.2	23
60	97.2	25
70	97.2	27
80	97.2	28
90	97.2	30
100	97.2	30

#### 3.2 场景 2: 调整绿证价格

若要提高本年的可再生能源电力利用率, 可以让绿证作为额外消纳量进入消纳量补充交易的过程。根据上一仿真结果, 设计超额消纳量转让基准价  $p_r=70, 75, 80$ , 消纳量补充交易频率  $f=1$ 。设计绿证价格  $p_{gc}$  为 76, 72, 68, 64 元的 12 种实验情景, 模拟可再生能源电力利用率  $R$  和消纳量补充交易后积极消纳者人数  $n$  的变化, 仿真结果如表 3 所示。

表 3 场景 2 的仿真结果

Table 3 Simulation results of scenario 2

$p_r$ /(元/mWh)	$p_{gc}$ /(元/张)	$R$ %	$n$ (个)
70	76	97.2	27
70	72	97.2	27
70	68	97.2	27
70	64	97.31	26
75	76	97.2	27
75	72	97.2	27
75	68	97.2	27
75	64	98.89	23
80	76	97.2	28
80	72	97.47	26
80	68	99.13	23
80	64	99.13	23

可以看出, 绿证价格  $p_{gc}$  的降低可以促进提高



本年的可再生能源电力利用率,一定程度上改善了“三弃”问题,但不利于促进消纳者产生主动消纳的意识。可再生能源电力消纳效果受到超额消纳量价格和绿证价格的综合影响,考虑到既要促进本年的可再生能源电力利用率,又要让更多的消纳者成为积极消纳者, $p_r$ 和 $p_{gc}$ 分别为(75, 64)或(80, 72)效果较好。

总的来看,平衡好2类消纳量补充产品的价格差,才能发挥可再生能源电力消纳保障机制的作用,从而促进可再生能源电力消纳效果。

### 3.3 场景3: 调整消纳量交易频率

政策指出可再生能源电力消纳责任权重为年度考核,但超额消纳量交易市场成熟后可逐步开展季度、月度或日交易<sup>[14]</sup>,即考核期间可以展开多次消纳量补充交易。因此根据上一仿真结果,确定 $(p_r, p_{gc})$ 为(70, 64)和(80, 72),其他参数不变。设计消纳量补充交易频率 $f$ 为1, 2, 4(即年度交易、半年度交易、季度交易),共6种实验情景。模拟可再生能源电力利用率 $R$ 和消纳量补充交易后积极消纳者人数 $n$ 的变化,仿真结果见表4。

表4 场景3的仿真结果  
Table 4 Simulation results of scenario 3

$(p_r, p_{gc})$	$f$ (次/a)	$R$ /%	$n$ (个)
(70, 64)	1	97.31	26
(70, 64)	2	97.23	26
(70, 64)	4	99.42	27
(80, 72)	1	97.47	26
(80, 72)	2	97.29	26
(80, 72)	4	99.69	28

考核期内消纳量补充交易频率 $f$ 的提高,对可再生能源电力的利用率和消纳主体的积极消纳意识都有促进作用。因此消纳量补充交易市场成熟后可相应提高补充交易频率。

## 4 结论

基于我国当前可再生能源电力消纳现状,结合文献分析可再生能源电力消纳保障机制下可再生

能源电力消纳的情况,基于主体的建模与仿真方法,构建可再生能源电力消纳模型,采用NetLogo 6.0.3进行实验场景仿真。基于上述研究,为可再生能源电力消纳提出以下几点建议:

(1) 超额消纳量转让基准价的提高对消纳者的消纳意识有促进作用,可以让更多的消纳主体主动超额消纳可再生能源电力。因此,当超额消纳量交易采用双边协商方式、超额消纳量转让价格采用“基准价+上下浮动”原则时,超额消纳量转让基准价格不能设定过低。

(2) 想要促进可再生能源电力的消纳效果,绿证交易的加入是促进提高本年可再生能源电力利用率的关键因素。当前我国绿证价格相对较高,绿证作为补充消纳量被认购的可能性较低,需要进一步制定科学政策加快绿证交易平台与可再生能源电力消纳的衔接,从而推进可再生能源电力的利用率,改善“三弃”问题。

(3) 消纳量补充交易频率也是影响可再生能源电力消纳的一个因素,考核期内消纳量补充交易频率越高,可再生能源电力消纳效果越好,因此消纳量补充交易市场成熟后可逐步开展季度、月度甚至日交易。

(4) 可再生能源电力消纳效果受到超额消纳量价格和绿证价格的综合影响,不能为追求可再生能源电力消纳效果的提升一味降低绿证价格,制定两类消纳量补充商品的指导价格时,应参考可再生能源电力的补贴价格,让可再生能源电力补贴平稳退坡,促进可再生能源产业良性发展。

本文中超额消纳量交易方式采用的是双边协商,而现实中电力交易还有集中竞价交易、挂牌交易等多种形式,后期研究将围绕消纳量补充交易方式进行研究,使模型具有更好的适应度,并进一步提出合理建议。

### 参考文献:

- [1] 国家能源局. 关于2018年度全国可再生能源电力发展监测评价的通报[EB/OL]. (2019-06-04) [2019-10-27] [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201906/t20190610\\_3673](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201906/t20190610_3673).

- htm.  
National Energy Administration (NEA). Announcement on the 2018 National Renewable Energy Power Development Monitoring and Evaluation[EB/OL]. (2019-06-04) [2019-10-27]. [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201906/t20190610\\_3673.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201906/t20190610_3673.htm).
- [2] 张翔, 陈政, 马子明, 等. 适应可再生能源配额制的电力市场交易体系研究[J]. 电网技术, 2019, 43(8): 2682-2690.  
Zhang Xiang, Chen Zheng, Ma Ziming, et al. Study on Electricity Market Trading System Adapting to Renewable Portfolio System[J]. Power System Technology, 2019, 43(8): 2682-2690.
- [3] 王敏. 关于中国风电和光伏发电补贴缺口和大比例弃电问题的研究[J]. 国际经济评论, 2018, 26(4): 67-85.  
Wang Min. Subsidy Crisis and Large-Scale Curtailment of Wind and Solar Power in China[J]. International Economic Review, 2018, 26(4): 67-85.
- [4] 任玥. 我国可再生能源配额政策的解读与发展方向分析[J]. 中外能源, 2019, 24(3): 15-20.  
Ren Yue. Interpretation and Development Direction of China's Renewable Energy Quota Policy[J]. Sino-Global Energy, 2019, 24(3): 15-20.
- [5] 王思聪. 政府补贴政策演进对光伏发电产业发展影响研究[J]. 价格理论与实践, 2018, 38(9): 62-65.  
Wang Sicong. The Evolution of PV Subsidy Policy and Its Impacts on PV Market in China[J]. Price: Theory & Practice, 2018, 38(9): 62-65.
- [6] 曹炜. 可再生能源配额制建构中的地方政府消纳义务[J]. 地方立法研究, 2019, 4(2): 91-102.  
Cao Wei. Local Government's Consumption Obligation in the Construction of Renewable Energy Quota System[J]. Local Legislation Journal, 2019, 4(2): 91-102.
- [7] Bhattacharya S, Giannakas K, Schoengold K. Market and Welfare Effects of Renewable Portfolio Standards in United States Electricity Markets[J]. Energy Economics (S0140-9883), 2015, 64(11): 384-401.
- [8] 黄碧斌, 李琼慧, 谢国辉, 等. 意大利可再生能源配额制及对我国的启示[J]. 风能, 2013, 4(11): 54-59.  
Huang Bibin, Li Qionghui, Xie Guohui, et al. Renewable Portfolio Standard in Italy and Its Enlightenment for China[J]. Wind Energy, 2013, 4(11): 54-59.
- [9] Kydes A S. Impacts of a Renewable Portfolio Generation Standard on US Energy Markets[J]. Energy Policy (S0301-4215), 2007, 35(2): 809-814.
- [10] Sun P, Nie P Y. A Comparative Study of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard Policy in Renewable Energy Industry[J]. Renewable Energy (S0960-1481), 2015, 74(2): 255-262.
- [11] Linnerud K, Simonsen M. Swedish-Norwegian Tradable Green Certificates: Scheme Design Flaws and Perceived Investment Barriers[J]. Energy Policy (S0301-4215), 2017, 106(7): 560-578.
- [12] Bird L, Chapman C, Logan J, et al. Evaluating Renewable Portfolio Standards and Carbon Cap Scenarios in the U.S. Electric Sector[J]. Energy Policy (S0301-4215), 2011, 39(5): 2573-2585.
- [13] Kydes A S. Impacts of a Renewable Portfolio Generation Standard on US Energy Markets[J]. Energy Policy (S0301-4215), 2007, 35(2): 809-814.
- [14] Sun P, Nie P Y. A Comparative Study of Feed-in Tariff and Renewable Portfolio Standard Policy in Renewable Energy Industry[J]. Renewable Energy (S0960-1481), 2015, 74(2): 255-262.
- [15] 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, 2.  
Kang Chongqing, Du Ershun, Zhang Ning, et al. Renewable Energy Trading in Electricity Market: Review and Prospect[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(3): 16-23, 2.
- [16] 冯奕, 刘秋华, 刘颖, 等. 中国售电侧可再生能源配额制设计探索[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 137-141, 158.  
Feng Yi, Liu Qiu-hua, Liu Ying, et al. Design and Exploration of Renewable Portfolio Standard in Power Demand Side in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 137-141, 158.
- [17] 朱敏. 实施可再生能源“绿证”制度是大势所趋[J]. 中国物价, 2018, 31(12): 70-72.  
Zhu Min. Carry Out "Green License" of Renewable Energy is an Irresistible Trend[J]. China Price, 2018, 31(12): 70-72.
- [18] 任东明. 中国可再生能源配额制和实施对策探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 25-28.  
Ren Dongming. China's Renewable Portfolio Standards and Implementing Countermeasures[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 25-28.
- [19] 赵文会, 高姣倩, 于金龙, 等. 计及碳交易和绿色证书交易机制的发电权交易模型[J]. 可再生能源, 2016, 34(8): 1129-1137.  
Zhao Wenhui, Gao Jiaoqian, Yu Jinlong, et al. Generation Rights Trade Model with Carbon Trading and Green Certificate Trading Mechanisms[J]. Renewable Energy Resources, 2016, 34(8): 1129-1137.

- [20] 左艺. 配额制下发电厂商市场行为决策研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.  
Zuo Yi. Research on Market Behavior Decisions of Power Generation Companies under Quota System[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2018.
- [21] 黄龙, 陈皓勇, 钟佳宇, 等. 促进可再生能源消纳的电力市场体系[J]. 广东电力, 2020, 33(2): 10-17.  
Huang Long, Chen Haoyong, Zhong Jiayu, et al. Power Market System to Promote Renewable Energy Consumption [J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(2): 10-17.
- [22] 张显, 谢开, 张圣楠, 等. 基于区块链的可再生能源超额消纳量交易体系[J]. 中国电力, 2020, 53(9): 60-70.  
Zhang Xian, Xie Kai, Zhang Shengnan, et al. Excessive Consumption Trading System for the Accommodation of Renewable Energies Based on Blockchain[J]. Electric Power, 2020, 53(9): 60-70.
- [23] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知[EB/OL]. (2019-05-10) [2020-06-25]. [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201905/t20190515\\_3662.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201905/t20190515_3662.htm).  
National Development and Reform Commission, NEA. Notice on Establishing and Improving the Guarantee Mechanism of Renewable Energy Power Consumption [EB/OL]. (2019-05-10) [2020-06-25]. [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201905/t20190515\\_3662.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201905/t20190515_3662.htm).