

# 高比例新能源背景下跨境新型电力系统多主体激励交易模型

赵博\*, 毛安家, 潘艳妮, 刘 焱, 曹 钰

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京

收稿日期: 2023年11月23日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2024年1月5日

## 摘 要

随着新能源发电技术在全球范围内的高速发展, 各国电网新能源消纳压力日益凸显, 利用跨境输电网络进行新能源跨境交易是提高新能源利用率的有效途径。为充分调配国家间的盈余新能源电力, 本文提出了一种跨境新型电力系统多国家主体激励交易模型。本文首先考虑各国境内电力市场的出清结果及境内机组的调节能力以获得各国的跨境购售电力需求, 其次, 在多方共赢的约束下搭建以跨境各国总收益最大为目标的优化模型以获得最优跨境新能源交易决策, 并采用粒子群算法对模型进行求解。最后, 通过欧洲某跨境市场算例验证了盈余新能源跨境激励交易模型的有效性。

## 关键词

跨境交易, 电力市场, 新能源消纳, 粒子群算法

# Multi-Agent Incentive Trading Model of Cross-Border New Power System under the Background of High Proportion of New Energy

Bo Zhao\*, Anjia Mao, Yanni Pan, Chi Liu, Yu Cao

School of Electrical and Electronics Engineering, North China Electric Power University, Beijing

Received: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Jan. 5<sup>th</sup>, 2024

\*通讯作者。

文章引用: 赵博, 毛安家, 潘艳妮, 刘焱, 曹钰. 高比例新能源背景下跨境新型电力系统多主体激励交易模型[J]. 智能电网, 2023, 13(4): 71-81. DOI: 10.12677/sg.2023.134007

## Abstract

With the rapid development of new energy power generation technology in the world, the new energy consumption pressure of national power grids has become increasingly prominent, and the use of cross-border transmission networks to carry out cross-border transactions of new energy is an effective way to improve the utilization rate of new energy. In order to fully allocate the surplus new energy power between countries, this paper proposes a new cross-border power system multi-national incentive trading model. This paper first considers the clearing results of domestic electricity markets and the adjustment capacity of domestic units in order to obtain the cross-border purchase and sale of electricity demand of various countries. Secondly, under the constraint of multi-party win-win, an optimization model with the goal of maximizing the total revenue of cross-border countries is built to obtain the optimal cross-border new energy trading decision, and particle swarm optimization algorithm is adopted to solve the model. Finally, the validity of the surplus new energy cross-border incentive trading model is verified by a European cross-border market example.

## Keywords

Cross-Border Trading, Electricity Market, New Energy Consumption, Particle Swarm Optimization

Copyright © 2023 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

随着全球应对气候变化措施的实施以及能源低碳转型,各国对清洁能源电力需求不断提升[1]。由于可再生能源全球范围内分布不均衡,跨国电力交易需求不断增大,同时各地区正在不断加快跨国电网互联建设进程,为跨国电力交易提供了物理基础,因此各地区建立适应本区域的跨国交易机制以最大化本国发电收益并促进新能源大范围消纳是各国正在努力的方向[2] [3]。

在跨国市场交易模式方面,目前世界主流的跨国跨区电力交易模式包括双边交易和集中交易。其中双边交易适用于电网互联及市场化程度较低的地区,其主要特征是跨境各国没有统一交易中心,例如南部非洲联盟电力市场[4]。集中交易则适用于电网互联较为成熟且已成功建立现货市场的地区,其主要特征是跨境各国已经统一交易中心,包括欧洲跨国电力市场的“联合市场”模式,以及美国 PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection)的“统一市场”模式[5]。

目前,立足于跨境交易模式,国内外广泛开展了针对跨境交易机制及方法的研究。文献[6]分析了跨境电力双边协商交易的特点,并针对邻国互联、区域一体化互联、跨多国远距离三种不同跨境场景设计相应的电力交易机制;文献[7]针对跨境国家之间不存在上级管理机构的特点,建立了包含半分布式网络拓扑结构、多主体交易区块链数据结构和多管理节点共识机制的基于联盟链的跨国电力交易框架,并设计了详细的跨国电力集中交易过程,分析了模型与数据共享、安全约束出清等关键支撑技术。文献[8]同样针对跨境国家之间不存在上级管理机构的特点,提出一种跨境新能源激励交易模式,建立了以新能源购电国为主导层、售电国为随从层的主从博弈模型。目前的研究多基于跨境双边交易模式展开,在跨境

多主体交易方面研究不足,因此本文立足于存在上层交易中心的跨国区域,进行多国家主体的交易机制的研究。

同时,在跨境电力交易促进新能源消纳方面,鉴于新能源在电力市场参与比例的不断增加,新能源出力的波动性与各类负荷变化的不确定性导致了发用电计划产生偏差电量[9]。因此,本文在存在上层交易机构的跨境电力市场中,为了进一步提高市场交易的灵活性,针对新能源发电有无可消纳盈余电量的情况,将跨境交易模式划分为两种:跨境多主体正常交易模式和跨境多主体辅助激励交易模式。其中正常交易模式中执行长期、日前等时间尺度下已制定的跨境交易计划,在各国完成本国电力调度的基础上,辅助激励交易模式则针对各国境内的盈余新能源电力执行跨境交易。

基于此,本文重点研究跨境多主体辅助激励交易模式,考虑各国境内电力市场的出清结果及境内机组的调节能力以获得各国的跨境购售电力需求,然后在多方共赢的约束下搭建以跨境各国总收益最大为目标的优化模型以获得最优跨境新能源交易决策,并采用改进粒子群算法对模型进行求解,最后通过欧洲某跨境市场算例验证了盈余新能源跨境交易模型的有效性和经济性。

## 2. 跨境多主体激励交易运行机制

跨境交易运行机制如图1所示,首先境内各国在跨境统一电力交易中心以及本国电力交易中心共同组织下开展市场出清,配合电力调度机构确定本国发电侧各企业的输出功率以及跨境正常交易的传输功率。

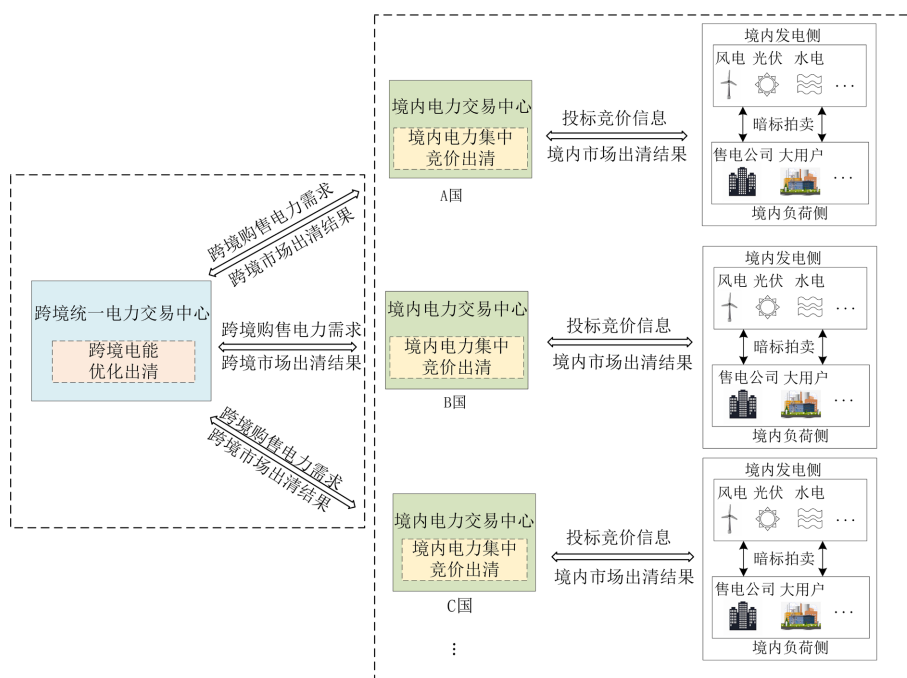


Figure 1. Domestic-cross-border trading market operation mechanism

图1. 境内-跨境交易市场运行机制

在境内集中竞价出清结果的基础上,由跨境统一电力交易中心针对各国盈余新能源电力进行跨境辅助激励交易,具体跨境激励交易规则如下:

- 1) 跨境交易参与国在存在新能源盈余的时刻可作为售电国进行售电;
- 2) 跨境交易参与国在不存在新能源盈余的时刻,若本国存在境外新能源消纳空间,可以作为购电国

进行购电，否则不参与激励交易；

3) 若三个国家同时存在新能源盈余或者同时无新能源盈余，则不进行激励交易。

### 3. 跨境多主体激励交易模型

#### 3.1. 各主体新能源电力购售需求计算

1) 售电侧最大境内新能源盈余电力

在日前境内各机组出清结果的基础上，考虑风光预测误差，计算各国境内风电以及光伏的盈余电力。

$$P_{sur}^t = P_{pre}^t - P_{plan}^t \quad (t=1,2,\dots,24) \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_{pre}^t = \sum_{i=1}^m P_{wind-pre,i}^t + \sum_{j=1}^n P_{pv-pre,j}^t \\ P_{plan}^t = \sum_{i=1}^m P_{wind-plan,i}^t + \sum_{j=1}^n P_{pv-plan,j}^t \end{cases} \quad (2)$$

式中， $P_{sur}^t$  为境内风光盈余电力， $P_{pre}^t$  为境内风光机组总预测出力， $P_{plan}^t$  为境内风光机组计划出力，是  $m$  个风电机组和  $n$  个光伏机组的代数和。

2) 购电侧最大可消纳境外新能源空间

购电国在境内计划确定后，可以主动挖掘自身常规机组出力下调节空间以及境内特殊负荷的上调节空间来促进境外新能源的消纳。

$$P_{re}^t = P_{ro-re}^t + Q_{re}^t \quad (3)$$

$$P_{ro-re}^t = \sum_{k=1}^R (P_{ro,k}^t - P_{ro,k}^{t-1} + \delta P_{ro-ca,k}) \quad (4)$$

$$Q_{re}^t = \sum_{l=1}^S (-\phi(Q^t - Q^{t-1})) \quad (5)$$

式中， $P_{re}^t$  为境内常规机组及可调负荷的总调节空间， $P_{ro-re}^t$  为境内常规机组下调节空间， $P_{ro}^t$  为常规机组  $t$  时刻出力， $P_{ro}^{t-1}$  为常规机组  $t-1$  时刻出力， $\delta$  为常规机组调节系数， $P_{ro-ca}$  为常规机组装机容量， $Q_{re}^t$  为境内特殊负荷的上调节空间， $Q^t$  为  $t$  时刻负荷， $Q^{t-1}$  为  $t-1$  时刻负荷， $\phi$  为特殊负荷调节系数。

#### 3.2. 目标函数

各国将跨境激励机制下的新能源售电量与购电量上报跨境统一电力交易中心，跨境交易中心以跨境各国总收益最大为目标进行跨境交易统一交易，将交易信息反馈给各国的交易中心，形成最终的跨境最优新能源交易电量及电价。跨境新能源交易要同时保证参与国无论作为售电国或者购电国均有收益，同时充分利用跨境输电通道，使交易成本最小。即目标函数为：

$$\max \sum_{i=1}^K I_{sale,i}^t + \sum_{j=1}^L I_{buy,j}^t - C_0^t - C_p^t \quad (6)$$

式中， $K$  为售电国国家数量， $L$  为购电国国家数量， $I_{sale,i}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的收益， $I_{buy,j}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  的收益， $C_0^t$  为  $t$  时刻的跨境交易运行总成本， $C_p^t$  为  $t$  时刻的跨境新能源消纳惩罚成本。

1) 其中售电国收益表达式具体为：

$$I_{sale,i}^t = \sum_{i=1}^K [E_{sale,i}^t (R_{sale,i}^t - C_{sale})] \quad (7)$$

式中,  $I_{sale}^t$  为  $t$  时刻售电国收益,  $E_{sale,i}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的售电量,  $R_{sale}^t$  为  $t$  时刻售电国分别与  $L$  个购电国的售电价,  $C_{sale}$  为售电国的新能源单位发电成本。

2) 其中购电国收益表达式具体为:

$$I_{buy,j}^t = I_{in} - C_1 - C_2 = E_{buy-sum} R_{in} - \sum_{j=1}^L \left( \left( \eta \left( E_{buy,j}^t \right)^2 - \lambda E_{buy,j}^t \right) - E_{buy,j}^t R_{buy,j}^t \right) \quad (8)$$

式中:  $I_{buy}^t$  为  $t$  时刻购电国收益,  $I_{in}$  为  $t$  时刻购电国  $j$  在本国电力交易市场上的售电收益,  $E_{buy-sum}$  为  $t$  时刻购电国  $j$  的总购电量,  $R_{in}$  为购电国的境内新能源单位售电收益;  $C_1$  为  $t$  时刻购电国购买跨境电力给境内带来的响应成本,  $E_{buy,j}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  在  $i$  国的购电量,  $\eta$ 、 $\lambda$  为购电函数响应系数;  $C_2$  为跨境购电成本,  $R_{buy,j}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  分别与  $L$  个购电国的购电价。

3) 其中跨境运行成本表达式具体为:

$$C_0^t = \sum_{h=1}^D E_h^t R_h \quad (9)$$

式中,  $C_0^t$  为  $t$  时刻跨境运行成本,  $D$  为跨境联络线数量,  $E_h^t$  为  $t$  时刻  $h$  联络线跨境传输电量,  $R_h^t$  为  $h$  联络线单位电力运行成本。

4) 其中跨境新能源消纳惩罚成本表达式为:

$$C_p^t = \sum_{i=1}^K r_p \left( E_{sur,i}^t - E_i^t \right) \quad (10)$$

式中,  $C_p^t$  为  $t$  时刻跨境新能源消纳惩罚成本,  $E_{sur,i}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的新能源盈余总电量,  $E_i^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的跨境新能源交易总电量,  $r_p$  为跨境新能源消纳惩罚系数。

### 3.3. 约束条件

1) 激励电价上下限约束

对于存在跨境激励交易的两个国家, 激励电价要小于两国之间的正常计划交易电价。

$$0 < R_{ij}^t < R_{plan}^t \quad (11)$$

式中,  $R_{ij}^t$  为  $t$  时刻两国跨境激励交易电价,  $R_{plan}^t$  为  $t$  时刻两国正常计划交易电价。

2) 售电国总售电量上下限约束

售电国的总售电量上限为本国境内盈余新能源电量。

$$0 \leq E_{sale,i}^t \leq E_{sur,i}^t \quad (12)$$

式中,  $E_{sale}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的总售电量,  $E_{sur,i}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  境内盈余新能源电量。

3) 购电国购电量上下限约束

购电国的总购电量上限为本国的境内新能源可消纳空间。

$$0 \leq E_{buy,j}^t \leq E_{re,j}^t \quad (13)$$

式中,  $E_{buy}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  的总购电量,  $E_{re}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  境内新能源可消纳空间。

4) 全部国家购售电量平衡约束

$$E_{sale,sum}^t = E_{buy,sum}^t \quad (14)$$

式中,  $E_{sale,sum}^t$  为  $t$  时刻所有国家总售电量,  $E_{buy,sum}^t$  为  $t$  时刻所有国家总购电量。

5) 跨境联络线传输容量约束

跨境新能源激励交易电力与计划交易电力之和不能超过跨境联络线限额。

$$P_{ij}^t + P_{plan,ij}^t \leq P_{ij,max}^h \quad (15)$$

式中,  $P_{ij}^t$  为  $t$  时刻购售两国之间的跨境激励交易电力,  $P_{plan}^t$  为  $t$  时刻国家间正常计划交易电力,  $P_{max}^h$  为跨境联络线传输容量上限。

6) 购售电国收益为正

$$I_{sale,i}^t > 0 \quad (16)$$

$$I_{buy,j}^t > 0 \quad (17)$$

式中,  $I_{sale,i}^t$  为  $t$  时刻售电国  $i$  的售电收益,  $I_{buy,j}^t$  为  $t$  时刻购电国  $j$  的购电收益。

#### 4. 跨境电力市场多主体交易模型求解方法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)可对数据进行全局搜索,收敛速度快,求解过程具有灵活性强、寻优能力强的优点。其中权重因子  $\omega$  严重影响 PSO 算法的收敛性能,在  $\omega$  取值较大时,有利于算法的全局搜索,同时能够加快收敛速度;  $\omega$  取值较小时则更有利于算法的局部搜索,提高 PSO 算法的收敛精度。为了让算法同时具备较好的全局和局部搜索能力,本文选取粒子当前位置与种群最优位置的差值指导  $\omega$  的取值,  $\omega$  的取值随着差值的改变进行调整[10]。

$$\omega_i^k = \omega_s - (\omega_s - \omega_e) \cdot (X_i^k - 1)^2 \quad (18)$$

式中:  $X_i^k$  为第  $i$  个粒子在第  $k$  次迭代时与种群全局最优位置的差值;  $\omega_i^k$  为第  $i$  个粒子在第  $k$  次迭代时的惯性权重取值;  $\omega_s$  为  $\omega$  的初始权重;  $\omega_e$  为  $\omega$  的结束权重。本文  $\omega_s$  为 0.8,  $\omega_e$  为 0.3。

求解的具体过程包括:

1) 初始化算法参数及系统参数,算法参数包括最大迭代数  $G$ 、权重因子  $\omega_s$  及学习因子  $c_1$ 、 $c_2$ 。系统参数包括购电国、售电国收益函数参数、跨境联络线运行成本函数参数等;本文  $G$  设置为 300,  $c_1$ 、 $c_2$  分别为 1.5、2.5。

2) 种群初始化,初始化粒子速度和位置,包括日前 24 时刻各国境内新能源盈余电力、各国境内新能源电力消纳空间、跨境正常交易电力及电价、跨境联络线最大传输容量;

3) 计算各粒子目标函数值,更新个体最优解及种群最优解;

4) 更新各粒子惯性权重因子;

5) 更新各粒子的速度和位置;

6) 返回值步骤 2), 重复 2)~5) 步骤,直至达到最大迭代数;

7) 输出最优解,即各国跨境激励交易电力、电价、各国跨境激励交易收益。

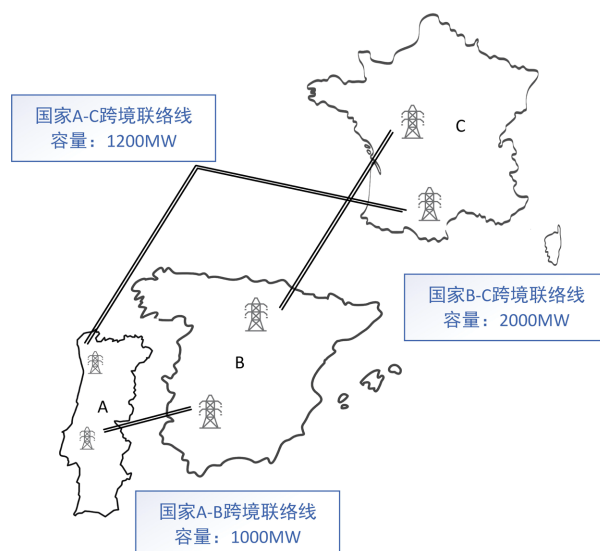
### 5. 算例仿真

#### 5.1. 算例概述

本文以欧洲某三个国家的互联电网为例,验证所提跨境市场激励交易模型的有效性,三个国家的地理拓扑如图 2 所示。本文所提跨境交易旨在境内安全校核完成的基础上的盈余新能源激励交易,所提模型需要满足促进跨境新能源规模化利用的同时使参与国皆有收益且整体收益最大化,所以对比以下两种模式下的交易结果:

1) 跨境计划交易结果;

2) 跨境计划交易 + 跨境激励交易结果。



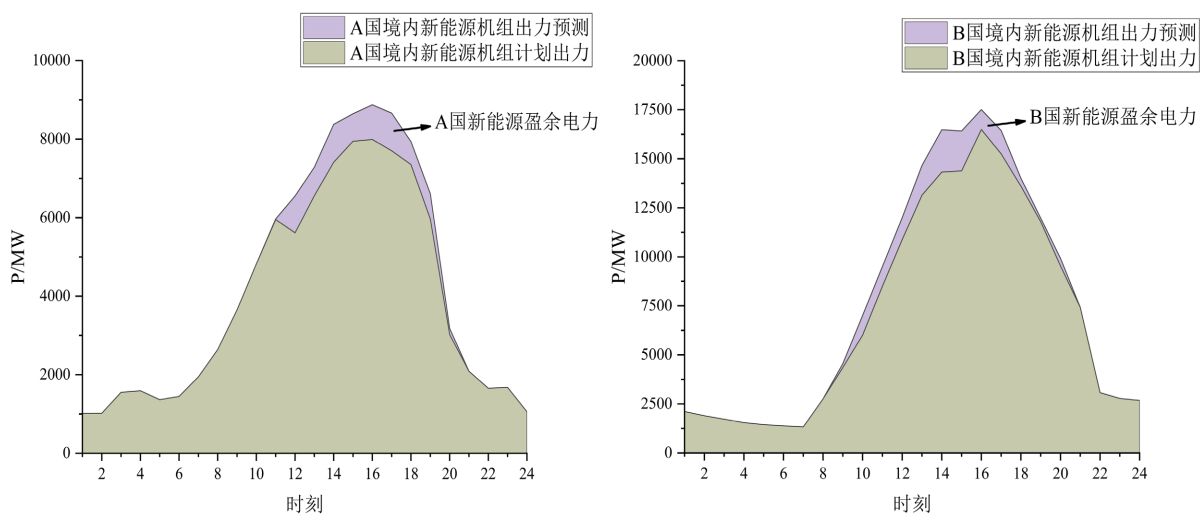
**Figure 2.** Cross-border transaction country geographical topology

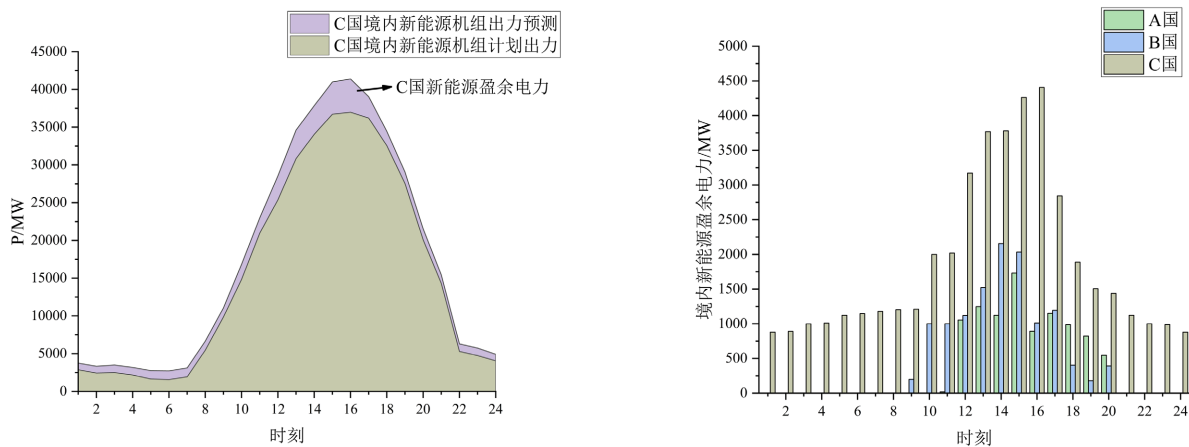
**图 2.** 跨境交易国家地理拓扑图

跨境联合调度机构基于各国新能源发电预测及负荷预测信息进行电力调度, 得到日前时间尺度下新能源发电计划, 与日前预测的新能源机组出力值整合如图 3 所示。本文采用欧洲三国(主要包括光伏发电、光热发电以及风力发电)某一夏季典型日跨境调度之后的实际数据, 图中两条曲线差值即为某国境内可用跨境交易的新能源盈余电力。

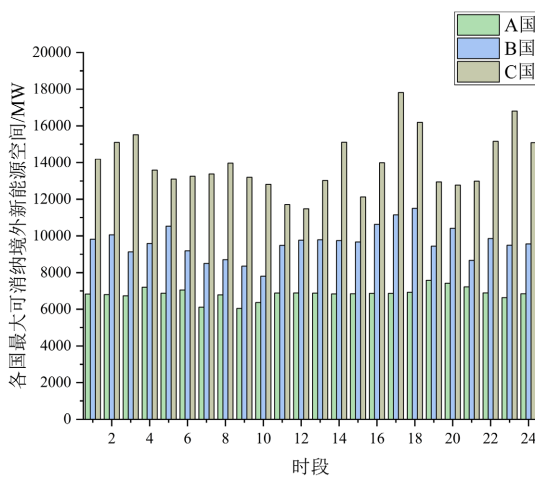
同时根据境内常规可调机组和可调负荷计算各国最大可消纳境外新能源空间如图 4 所示。根据日前交易计划, 已知各国之间跨境正常交易时跨境联络线传输功率如图 5 所示, 正常交易和跨境激励交易之和不能逾越跨境联络线传输限额。

本算例中三个国家模型中的具体参数表 1 所示, 其中  $C_{sale}$  为售电国的新能源单位发电成本, 是包括光伏、光热发电以及风力发电的综合发电成本;  $R_{in}$  为购电国的境内新能源单位售电收益;  $\eta$ 、 $\lambda$  为购电函数响应系数,  $r_p$  为跨境新能源消纳惩罚系数[8]。

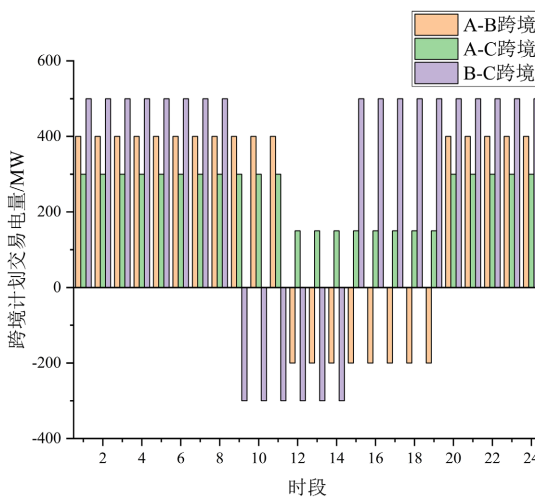




**Figure 3.** New energy surplus electricity in each country  
**图 3.** 各国境内新能源盈余电力



**Figure 4.** Countries have the maximum capacity to absorb overseas new energy  
**图 4.** 各国最大可消纳境外新能源空间



**Figure 5.** Cross-border normal electricity trading scheme  
**图 5.** 跨境正常电力交易计划



**Table 1.** Wind and solar power parameters**表 1.** 交易模型参数设置

参数	国家 A	国家 B	国家 C
$C_{sale}$	110 €/MW	130 €/MW	120 €/MW
$R_{in}$	250 €/MW	250 €/MW	235 €/MW
$\eta$	0.05	0.07	0.065
$\lambda$	5	4	5
$r_p$	2	2	3

## 5.2. 结果分析

在已知跨境初始交易计划以及最大可消纳新能源空间约束等信息的基础上，在各国境内新能源盈余时段，利用粒子群算法对跨境交易模型进行求解，得到日前 24 时刻出清结果如表 2 所示。

**Table 2.** Recently cross-border incentive transaction clearance table**表 2.** 日前跨境激励交易出清表

时刻	A→B		A→C		B→C	
	激励交易电力 (MW)	激励交易电价 (€)	激励交易电力 (MW)	激励交易电价 (€)	激励交易电力 (MW)	激励交易电价 (€)
1	0	0	-361.14	181.33	-518.86	177.67
2	0	0	-359.18	181.25	-530.82	177.28
3	0	0	-424.23	180.12	-574.77	179.33
4	0	0	-432.44	179.22	-575.56	179.26
5	0	0	-443.41	179.45	-679.59	176.84
6	0	0	-497.38	180.00	-647.62	177.46
7	0	0	-492.45	180.22	-685.55	178.93
8	0	0	-525.86	180.13	-674.14	177.65
9	-195.00	175.35	-1176.00	179.86	0	0
10	-954.00	176.58	-973.00	178.96	0	0
11~20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	-510.49	181.12	-612.51	177.34
22	0	0	-411.66	181.02	-588.34	177.38
23	0	0	-407.15	179.98	-581.85	177.65
24	0	0	-367.31	179.87	-512.69	176.89

在交易出清结果中，交易电量值的算术符号表示传输方向。以时刻 8 为例，A 国境内无新能源盈余电力，作为激励交易购电方，B、C 两国存在境内新能源盈余电力，因此由 B、C 两国向 A 国传输跨境激励交易电力，B 国向 A 国传输电力 525.86 MW，激励价格为 180.13 €/MW，C 国向 A 国传输电力 674.14 MW，激励价格为 177.65 €/MW；时刻 11~20 三个国家均有新能源盈余，因此无跨境交易。由结果可知，跨境激励交易模型促进了三个国家境内新能源的进一步消纳。

接下来分析各国的收益情况, 目前已知跨境激励交易电力及电价, 根据购售国家的收益函数对 A、B、C 三国激励交易前后的日前总收益进行对比, 如表 3 所示。

**Table 3.** Trade electricity and revenue across borders  
**表 3.** 跨境交易电力及收益

模式	新能源盈余电力交易(MW)			收益(€)		
	A 国	B 国	C 国	A 国	B 国	C 国
计划交易	9200	10,600	1800	2,840,000	390,800	346,800
计划 + 激励	9200	11,649	14,888	3,118,428	4,177,330	4,326,468
变化量	0	1049	13,088	278,428	269,330	858,468

在原有初始交易计划基础上对三国盈余新能源进行跨境交易, A 国并没有新能源盈余, 通过购买跨境新能源, 收益增加了 278,428 €, B 国新能源盈余电力售出 1049 MW, 收益增加了 269,330 €, C 国新能源盈余电量售出 13,088 MW, 收益增加了 858,468 €。结果表明, 通过对盈余新能源的跨境激励交易, 交易国既实现了本国新能源消纳量的提升, 同时也产生了显著的收益增量, 因此有效促进了各国新能源交易的积极性。

## 6. 结论

为实现跨境新能源消纳, 本文提出了一种基于粒子群算法的跨境多主体激励交易模型。本文首先考虑各国境内电力市场的出清结果及境内机组的调节能力以获得各国的跨境购售电力需求, 其次, 在多方共赢的约束下搭建以跨境各国总收益最大为目标的优化模型以获得最优跨境新能源交易决策, 并采用粒子群算法对模型进行求解。最后, 通过欧洲某跨境市场算例验证了盈余新能源跨境交易模型的有效性, 得出以下结论:

- 1) 跨境多主体通过跨境激励交易机制能够进一步挖掘各国的新能源消纳空间, 同时更加充分地利用了跨境输电通道的剩余传输能力。
- 2) 跨境激励交易机制也实现了参与主体的互利共赢, 提升了各国跨境新能源交易的积极性, 达到促进新能源消纳的目的。

本文算例中各国地理位置接近, 新能源资源禀赋相差不大, 因此新能源受阻时间重复性较高, 后续可以针对各国资源禀赋差异较大而导致的激励交易结果变化进行具体分析。

## 基金项目

国家重点研发计划(2018YFE0208400), 国家电网有限公司总部科技项目《面向跨境互联的多能互补新型能源系统关键技术研究》。

## 参考文献

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 王士轩. 新能源产业集群规模、分布与产能效应研究[D]: [博士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [3] 杨蕙嘉. 输电网项目视角下可再生能源消纳时空特征及驱动模型[D]: [博士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2021.
- [4] 蔡文畅, 申展, 黑阳, 王珺. 世界典型跨国跨区电力交易对未来澜湄区域电力交易模式的启示[J]. 全球能源互联网, 2023, 6(3): 316-324.

- 
- [5] 李雪瑞, 李国栋, 曾丹, 付学谦. 欧美电力市场对我国跨省区中长期市场建设的启示[J]. 电力需求侧管理, 2022, 24(5): 108-114.
- [6] 黄琨, 周原冰, 曲昊源, 管秀鹏, 高国伟, 陈孚. 跨国跨洲电力交易机制研究[J]. 全球能源互联网, 2018, 1(S1): 234-241.
- [7] 高志远, 高艺, 卢文冰, 王璐. 基于联盟链技术的跨国电力交易框架设计[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(3): 264-271.
- [8] 张尧翔, 刘文颖, 庞清仑, 韩小齐. 基于主从博弈的跨境新型电力系统双边交易决策方法[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(4): 19-26.
- [9] 曲睿馨. 促进可再生能源消纳的电力市场机制与出清研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 东北电力大学, 2023.
- [10] 陶力, 刘建, 王子涵, 等. 以电网侧储能提高比例可再生能源区域系统的可用输电容量[J]. 可再生能源, 2021, 39(10): 1394-1400.