

# 碳交易规制下社区微网与电动汽车换电站间的合作博弈策略研究

凌俊晖<sup>1</sup>, 李军祥<sup>1,2\*</sup>, 刘 淇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>上海理工大学管理学院, 上海

<sup>2</sup>上海理工大学智慧应急管理学院, 上海

收稿日期: 2024年10月20日; 录用日期: 2024年11月13日; 发布日期: 2024年11月20日

## 摘 要

随着电动汽车的普及, 充换电站这一类基础设施的规模也在日益庞大。电动汽车换电站(Battery swap station, BSS)作为电力市场重要参与者, 如何充分利用其中电池的储能特性, 丰富新型储能电站的市场化商业模式成为重要课题。针对以上原因, 本文提出了考虑碳市场下社区微网与BSS的合作模型, 并以合作后收益最大化为优化目标进行仿真研究。仿真结果表明, 本文所提模型与策略能够有效增加合作双方收益, 减轻电网负担, 不会增加碳排放量。

## 关键词

电动汽车换电站, 微电网, 合作博弈, 碳交易

# Research on the Cooperative Game Strategy between Community Microgrids and Electric Vehicle Swap Stations under Carbon Trading Regulations

Junhui Ling<sup>1</sup>, Junxiang Li<sup>1,2\*</sup>, Qi Liu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

<sup>2</sup>School of Intelligent Emergency Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Oct. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Nov. 13<sup>th</sup>, 2024; published: Nov. 20<sup>th</sup>, 2024

\*通讯作者。

文章引用: 凌俊晖, 李军祥, 刘淇. 碳交易规制下社区微网与电动汽车换电站间的合作博弈策略研究[J]. 建模与仿真, 2024, 13(6): 6127-6137. DOI: 10.12677/mos.2024.136562

## Abstract

With the popularity of electric vehicles, the scale of infrastructure such as charging and swapping stations is also increasing. As an important participant in the electricity market, how to fully utilize the energy storage characteristics of batteries in electric vehicle swap stations (BSS) and enrich the market-oriented business models of new energy storage stations has become an important issue. In response to the above reasons, this article proposes a cooperation model between community microgrids and BSS under the carbon market, and conducts simulation research with the optimization goal of maximizing the benefits after cooperation. The simulation results show that the model and strategy proposed in this paper can effectively increase the benefits of both parties, reduce the burden on the power grid, and not increase carbon emissions.

## Keywords

BSS, Microgrid, Cooperative Game, Carbon Trading

Copyright © 2024 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

伴随低碳观念的深入人心, 电动汽车数量急剧攀升[1] [2]。目前, 我国电动汽车保有量已达到 1500 万辆, 充电基础设施超过 550 万台。电动汽车对于电力市场同时具有可控负荷以及移动储能特性, 一亿辆电动汽车的动力电池总容量超 50 亿度, 对发展高比例新能源发电和构建新型电力系统发挥着巨大的作用[3]-[5]。因此, 如何从多角度充分利用电动汽车储能特性成为亟待解决的重要问题。

在有关利用电动汽车储能特性的研究方面, 文献[6]针对聚合空调负荷和电动汽车的海岛微电网虚拟储能系统, 提出多主体博弈优化调度策略。文献[7]以电动汽车这一特殊分布式储能设备为例, 研究个体有限理性特征下微电网运营商对并网电动汽车的汇聚方案。文献[8]考虑电动汽车的储能特性, 为弃风行为带来解决方案并建立了混合整数线性规划模型以求解聚合调用方案。上述研究深入探讨了利用电动汽车的储能特性进行优化调度问题, 但并没有考虑到利用换电站(Battery swap station, BSS)来发挥电动汽车的储能特性。BSS 为电动汽车提供换电服务, 是电动汽车并网的重要设施, 也是电力市场重要参与者[9] [10]。BSS 在设施上的最大特点是储备较大数量的用于电动汽车用户更换的电池, 这使得 BSS 能够具有成为一座储能站的潜力。但是 BSS 的设计和技术主要针对快速更换电池, 而不是长时间存储能量或参与复杂的电网调峰操作, 虽然现如今我国已经推出了充换电一体站, 加强了对 BSS 中电池电量的可调控性, 但却还未成熟与普及, 基于此情况, 考虑 BSS 与社区微网合作很好得弥补了这一点, 首先, 如今社区微网大多设有成熟的充放电装置, 解决了传统 BSS 由于技术不足无法向电网送电的问题, 其次, 微网具有成熟的监控调度系统, 可以实时了解与电网之间的电量需求关系, 对电量进行合理调控并且面对突发状况可以及时调整策略。另外, 本文假设 BSS 拥有足够多的电池, 使 BSS 中电池充放电行为不受本职换电工作影响。

实施开展碳交易市场是我国为了解决碳排放量过大问题, 激励新能源发展所采取的解决措施。在研究碳交易规制方面, 文献[11]考虑到碳交易对综合能源碳排放的影响, 采用了一种改进的奖惩式阶梯式碳交易机制进行研究, 文献[12]引入阶梯碳 - 绿证交易交互机制完善低碳市场交易规则进行模型建立, 文献[13]建立了一个包含奖惩机制的阶梯型碳交易综合能源系统模型进行研究, 以上研究主要探讨了在碳交易机制下

对发电企业的策略影响，鲜有文献考虑到将电动汽车充换电站这些用电设施参与到碳交易市场的情况。

综上，为了充分发挥 BSS 中电池储能特性，并验证其低碳性，本文在现有研究基础上，结合碳交易市场，构建了社区微网与 BSS 的合作博弈模型，提出了在合作利益最大化下合作联盟的购售电策略。最后通过结果表明，本文所提模型与策略能够有效增加合作双方收益，增加向电网调峰电量，不会增加微网运行产生的碳排放量。

## 2. 社区微网与 BSS 合作博弈分析

本文设置社区微网由发电设施(火力机组、风力机组)、微网调度中心、居民基础负荷组成。BSS 中有足够数量的电动汽车电池，避免电池充放电行为影响用户换电需求。在非合作模式下，社区微网通过火力、风力机组发电来满足社区基础负荷，当发电不足时向电网进行购电，发电盈余时向电网进行售电，BSS 通过向电网购电来满足自身电池电量需求。在合作模式下，社区微网同样通过火力、风力机组发电，但是微网调度中心可以制定合理的电池充放电以及向电网购售电计划，在低负荷时为 BSS 中电池充电，在高负荷时令 BSS 中电池放电缓解自身负荷压力的同时向电网售电获取利益。为方便计算，设定每天 BSS 初始条件相同，BSS 中电池电量不变，合作模式结构如图 1 所示。

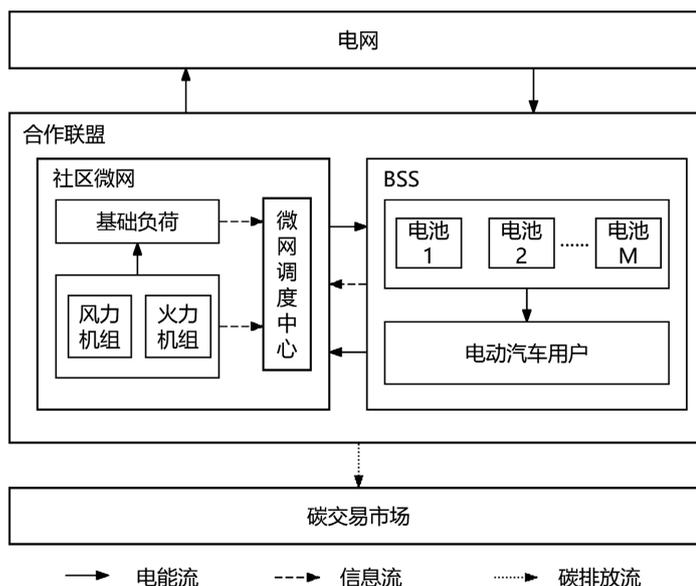


Figure 1. Structure of cooperation model between community microgrids and BSS  
图 1. 社区微网与 BSS 合作模式结构

## 3. 碳交易下社区微网与 BSS 合作博弈模型

### 3.1. 目标函数

合作模式下社区微网与 BSS 的总收益由售电收益，发电成本，碳交易成本，购电成本以及电池退化成本构成，具体公式如下：

$$B^{\text{mic,bss}} = B^s - C^{\text{gt}} - C^{\text{wt}} - C^{\text{g,mic}} - C^{\text{g,bss}} - C^{\text{b}} - C^{\text{bat}} \quad (1)$$

式中： $B^{\text{mic,bss}}$  为合作下社区微网与 BSS 的总收益， $B^s$  为合作下售电收益， $C^{\text{gt}}$  为火力机组发电成本， $C^{\text{wt}}$  为风力机组发电成本， $C^{\text{g,mic}}$  为社区微网碳交易成本， $C^{\text{g,bss}}$  为 BSS 碳交易成本， $C^{\text{b}}$  为合作下购电成本， $C^{\text{bat}}$  为 BSS 中电池退化成本。

### 3.1.1. 售电收益

售电收益包括 BSS 换电收益，向电网售电收益以及向居民售电收益。

$$B^s = \sum_{t \in T} (c_t^{\text{bss}} P_t^{\text{bss}} + c_t^{\text{s,grid}} P_t^{\text{s,grid}} + c_t^r P_t^r) \quad (2)$$

式中：\$c\_t^{\text{bss}}\$ 为 \$t\$ 时段 BSS 售电价格，\$P\_t^{\text{bss}}\$ 为 \$t\$ 时段 BSS 售电量，\$c\_t^{\text{s,grid}}\$ 为 \$t\$ 时段微网向电网售电价格，\$P\_t^{\text{s,grid}}\$ 为 \$t\$ 时段微网向电网售电量，\$c\_t^r\$ 为 \$t\$ 时段居民用电价格，\$P\_t^r\$ 为 \$t\$ 时段居民基础用电量。

### 3.1.2. GT 发电成本

$$C^{\text{gt}} = \sum_{t \in T} \frac{c^{\text{gas}} P_t^{\text{gt}}}{\omega^{\text{gt}} \rho} \quad (3)$$

式中：\$c^{\text{gas}}\$ 为单位燃气价格，\$P\_t^{\text{gt}}\$ 为火力机组 \$t\$ 时段发电量，\$\omega^{\text{gt}}\$ 为单位燃气量下火力机组发电量，\$\rho\$ 为火力机组发电效率。

### 3.1.3. 风机运维成本以及弃风成本

风电成本包括运维成本和弃风成本

$$C^{\text{wt}} = \sum_{t \in T} ((\beta^o - \beta^b) P_t^{\text{wt}} + \beta^a P_t^{\text{wq}}) \quad (4)$$

式中：\$\beta^o\$ 为单位风电运维成本，\$\beta^b\$ 为单位风电补贴价格，\$\beta^a\$ 为单位弃风成本，\$P\_t^{\text{wq}}\$ 为 \$t\$ 时段弃风量。

### 3.1.4. 交易成本

碳交易成本包含微网碳交易成本以及 BSS 碳交易成本，其中微网的碳排放来自其火力机组发电产生，与火力发电量相关，而由于电动汽车在行驶过程中不产生碳排放，新能源发电也不产生碳排放，所以认为 BSS 每日碳排放来自于换电电量中火力机组发电占比部分，与火力发电量占比相关[14]。

$$C^{\text{g,mic}} = \begin{cases} \sum_{t \in T} (P_t^{\text{gt}} e_1 - E^{\text{mic,c}}) \omega_1, E^{\text{mic,c}} \leq P_t^{\text{gt}} e_1 \\ \sum_{t \in T} (P_t^{\text{gt}} e_1 - E^{\text{mic,c}}) \omega_2, P_t^{\text{gt}} e_1 < E^{\text{mic,c}} \end{cases} \quad (5)$$

$$C^{\text{g,bss}} = \begin{cases} \sum_{t \in T} (P_t^{\text{bss}} e_2 - E^{\text{bss,c}}) \omega_1, E^{\text{bss,c}} \leq P_t^{\text{bss}} e_2 \\ \sum_{t \in T} (P_t^{\text{bss}} e_2 - E^{\text{bss,c}}) \omega_2, P_t^{\text{bss}} e_2 < E^{\text{bss,c}} \end{cases} \quad (6)$$

式中：\$E^{\text{mic,c}}\$ 为微网初始碳配额，\$e\_1\$ 为边际碳排放因子，\$E^{\text{bss,c}}\$ 为 BSS 初始碳配额，\$e\_2\$ 为火力发电占比碳排放因子，\$\omega\_1\$ 为碳排放惩罚成本系数，\$\omega\_2\$ 为碳排放奖励成本系数。

### 3.1.5. 购电成本

$$C^{\text{b}} = \sum_{t \in T} c_t^{\text{b,grid}} P_t^{\text{b,grid}} \quad (7)$$

式中：\$c\_t^{\text{b,grid}}\$ 为 \$t\$ 时段社区微网向电网购电价格，\$P\_t^{\text{b,grid}}\$ 为 \$t\$ 时段社区微网向电网购电量。

### 3.1.6. 电池损耗成本

电池充放电会影响电池寿命，造成电池损耗成本。损耗成本与电池充放电效率、电池充放电量以及电池损耗费用率有关，表达式如下[15]：

$$C^{\text{bat}} = \frac{1}{2} \mu \left( \alpha^c \sum_{t \in T} P_t^c + \alpha^f \sum_{t \in T} P_t^f \right) \quad (8)$$

式中： $\mu$  为电池损耗费用率， $\alpha^c$  和  $\alpha^f$  分别为电池充、放电效率， $P_t^c$ 、 $P_t^f$  分别为  $t$  时段 BSS 中电池充、放电量。为了保证系统功率平等，一方面，整个系统中发电总量与用电总量是相等的，即火电机组发电量、风力机组发电量与购电总量之和等于电动汽车换电量、基础负荷与售电总量之和，另一方面，整个系统实时电量交换是相等的，即每时段电池充电量、基础负荷与售电总量之和等于电池放电量、火力机组发电量、风力机组发电量与购电总量之和。

## 3.2. 约束条件

### 3.2.1. 系统功率平衡约束

为了保证系统功率平等，一方面，整个系统中发电总量与用电总量是相等的，即火电机组发电量、风力机组发电量与购电总量之和等于电动汽车换电量、基础负荷与售电总量之和，另一方面，整个系统实时电量交换是相等的，即每时段电池充电量、基础负荷与售电总量之和等于电池放电量、火力机组发电量、风力机组发电量与购电总量之和。

$$\sum_{t \in T} (P_t^{\text{gt}} + P_t^{\text{wt}} + P_t^{\text{b}}) = \sum_{t \in T} (P_t^{\text{bss}} + P_t^{\text{r}} + P_t^{\text{s}}) \quad (9)$$

$$P_t^c + P_t^{\text{r}} + P_t^{\text{s}} = P_t^f + P_t^{\text{gt}} + P_t^{\text{wt}} + P_t^{\text{b}} \quad (10)$$

### 3.2.2. 火力发电约束

$$0 \leq P_t^{\text{gt}} \leq P_t^{\text{gt,max}}, \forall t \in T \quad (11)$$

式中： $P_t^{\text{gt,max}}$  为  $t$  时段火力机组最大发电量。

### 3.2.3. 风力发电约束

$$P_t^{\text{wt}} + P_t^{\text{wq}} = P_t^{\text{w}}, P_t^{\text{wt}} \geq 0, P_t^{\text{wq}} \geq 0, \forall t \in T \quad (12)$$

式中： $P_t^{\text{w}}$  为  $t$  时段风力机组发电预测量。

### 3.2.4. 购售电量约束

$$0 \leq P_t^{\text{b}} \leq P_t^{\text{b,max}}, 0 \leq P_t^{\text{s}} \leq P_t^{\text{s,max}}, \forall t \in T \quad (13)$$

式中： $P_t^{\text{b,max}}$ 、 $P_t^{\text{s,max}}$  分别为  $t$  时段向电网最大购、售电量。

### 3.2.5. 电池充放电约束

$$0 \leq P_t^c \leq MP_t^{\text{c,max}}, 0 \leq P_t^f \leq MP_t^{\text{f,max}}, \forall t \in T \quad (14)$$

式中： $P_t^{\text{c,max}}$ 、 $P_t^{\text{f,max}}$  分别为  $t$  时段单块电池最大充、放电量。

综上所述，本文模型表达式为：

$$\begin{aligned} \max B^{\text{mic,bss}} &= B^{\text{s}} - C^{\text{gt}} - C^{\text{wt}} - C^{\text{g,mic}} - C^{\text{g,bss}} - C^{\text{b}} - C^{\text{bat}} \\ \text{s.t. 式(9)-(14)} \end{aligned} \quad (15)$$

## 4. 模型求解

联盟利益分配是合作博弈过程关键步骤。关于合作联盟成员收益分配的方法主要包括核心法、核仁法、Shapley 值法等。在上述合作联盟利益分配方法中，Shapley 值分配法的应用最为普遍且最具适用性，故本文采用 Shapley 值法来进行社区微网与 BSS 间的利益分配。联盟参与者的利润， $Z_i, i=1,2,\dots,n$  计算

如下[16]:

$$Z_i(v) = \sum_{s \in S(i)} w(|s|) [v(s) - v(s/i)] \tag{16}$$

$$w(|s|) = \frac{(n-|s|)! (|s|-1)!}{n!} \tag{17}$$

式中:  $s$  为集合中所有参与者  $i$  的数量,  $v(s)$  为子集  $s$  的利益,  $v(s/i)$  为子集中  $s$  去掉  $i$  之后的利益,  $w(|s|)$  为加权因子。

本文采用商业软件 Matlab 进行求解, 具体步骤如下:

步骤 1: 输入基础数据与参数。

步骤 2: 建立以收益最大化为目标的社区微网与 BSS 合作模型。对合作联盟的购售电、电动汽车充放电计划进行优化。

步骤 3: 利润分配。在求得的最大利润基础上, 利用 Shapley 值法进行分配。

## 5. 算例分析

### 5.1. 参数设置

本文设置参数如下:

- 1) 本文将一天分为 24 时段, 即  $T \in \{1, 2, \dots, 24\}$ 。
- 2) 本文设置 BSS 内电池数量  $M = 100$ , 社区微网含有 6 台 450 千瓦的风机, 4 台 375 千瓦的火力发电机组, 即  $P_i^{st,max} = 1500 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。
- 3) 本文风力发电预测量、基础负荷和 BSS 换电量参考文献[17]-[19], 如图 2 所示。
- 4) 本文向电网购电价格参考文献[20], 并且为了保证电网的利益, 设置微网向电网售电电价为微网向电网购电电价的 0.9 倍, 向居民售电价格参考上海 2023 居民电费收费标准, 具体如图 3 所示。
- 5) 本文其他数据参考文献[21]-[23], 如表 1 所示。

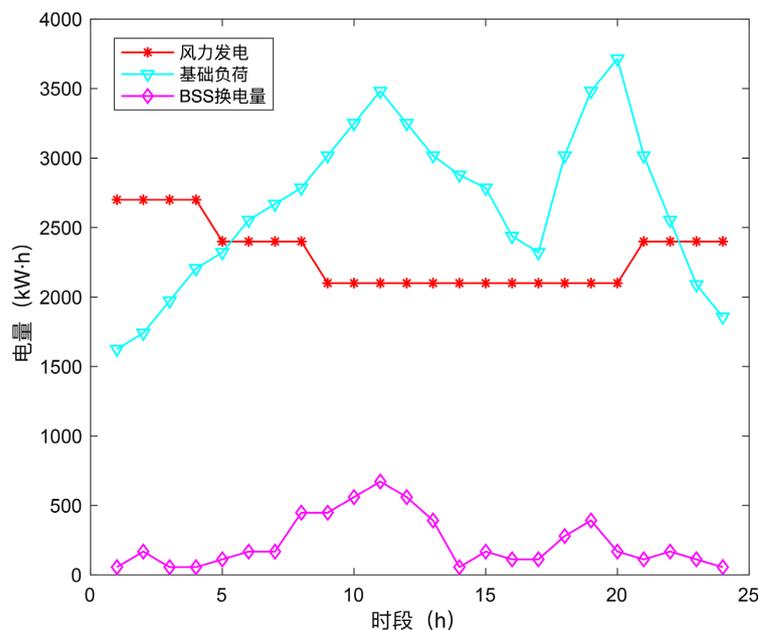


Figure 2. Pre measurement of wind power generation, basic load, and BSS exchange capacity at different time periods  
图 2. 各时段风力发电预测量、基础负荷和 BSS 换电量

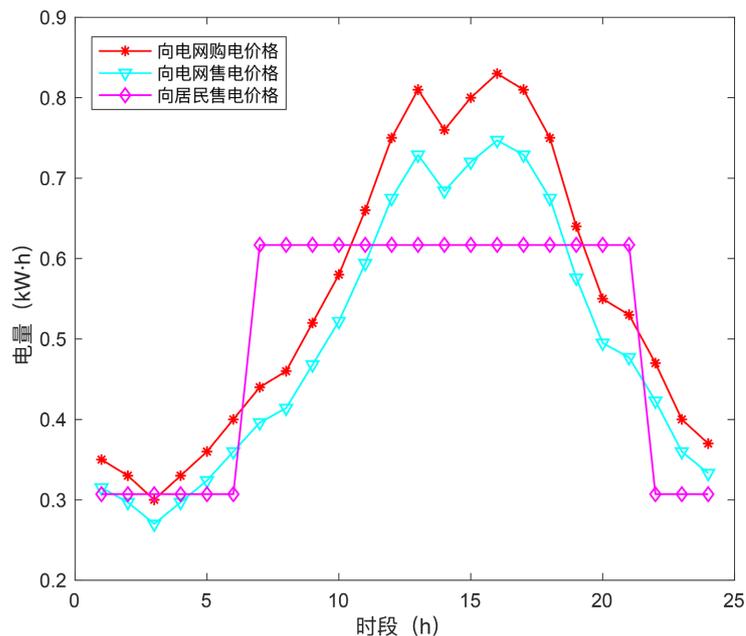


Figure 3. Relevant electricity prices for each time period  
图 3. 各时段相关电价

Table 1. Other relevant data  
表 1. 其他相关数据

参数名称	参数值	参数名称	参数值
$c_t^{bss}$ (元/kW·h)	0.4377	$e_1$ (kg/kW·h)	0.09109
$c^{gas}$ (元/立方米)	3.46	$E^{bss,c}$ (kg)	150
$\omega^{gt}$ (kW·h/立方米)	9.88	$e_2$ (kg/kW·h)	0.04209
$\rho$ (%)	95	$\omega_1$ (元/kg)	2.5
$\beta^o$ (元/kW·h)	0.5	$\omega_2$ (元/kg)	2.5
$\beta^b$ (元/kW·h)	0.15	$\mu$ (%)	7
$\beta^a$ (元/kW·h)	0.1	$\alpha^c$ (%)	90
$E^{mic,c}$ (kg)	150	$\alpha^f$ (%)	90

## 5.2. 仿真结果

### 5.2.1. 本文参数下的最优策略

根据 5.1 给出的参数，合作模式下社区微网与 BSS 最优策略如图 4 所示。

由图 4 可知：在合作模式下，微网在低负荷、购电价格低时通过自身发电以及向电网购电的方法为 BSS 中电池充电，BSS 在满足自身换电需求的条件下在微网处于高负荷时令其中电池向微网送电，并且能够利用电动汽车电池的储能特性，在售电价格高时向电网售电，赚取利润。除此之外，由于碳交易市场会对多余火力发电量进行惩罚，火力机组只有在高负荷时才进行运作。

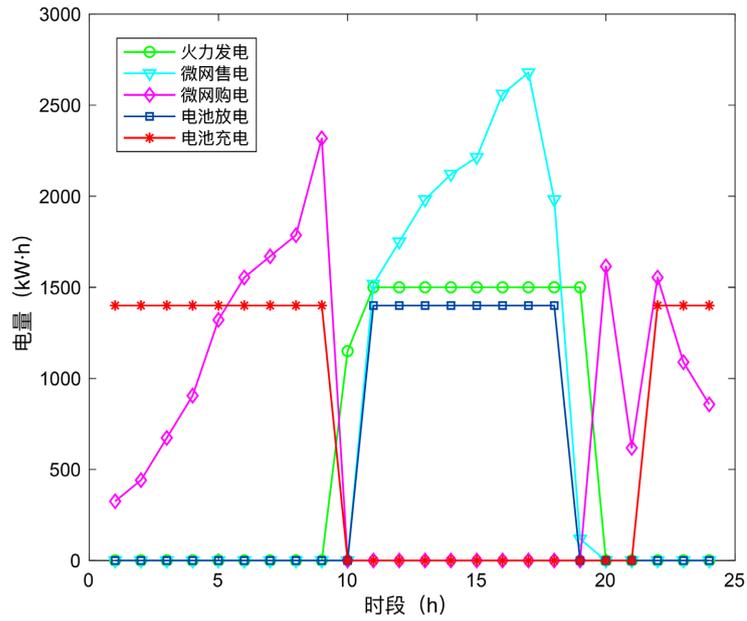


Figure 4. Optimal strategy under cooperative mode  
图 4. 合作模式下最优策略

### 5.2.2. 合作模式对总体收益的影响

为探究本文提出的合作模型的可行性，设置以下场景：

场景 1：考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 进行合作，采用常规风电预测数据。

场景 2：考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 不进行合作，采用常规风电预测数据。

场景 3：考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 进行合作，采用极端天气下风电不足的风电预测数据。

场景 4：考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 不进行合作，采用极端天气下风电不足的风电预测数据。

四种场景下，社区微网与 BSS 总收益以及向电网售电量如图 5、图 6 所示：

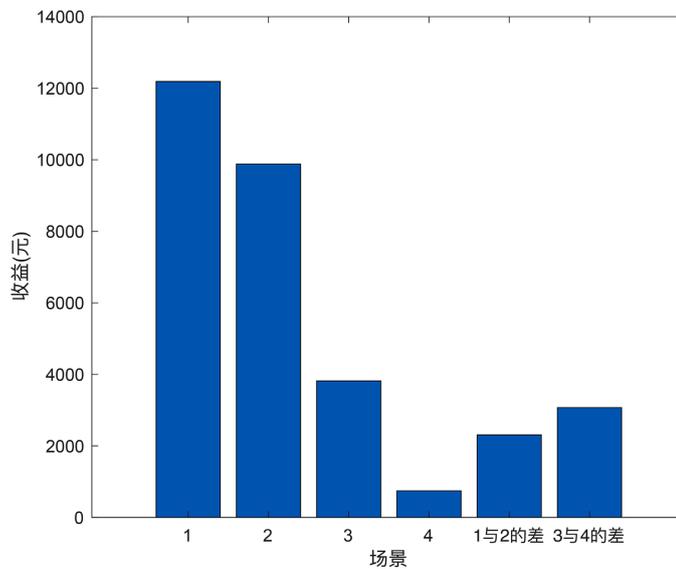


Figure 5. Total revenue of community microgrids and BSS in different scenarios  
图 5. 不同场景下的社区微网与 BSS 总收益

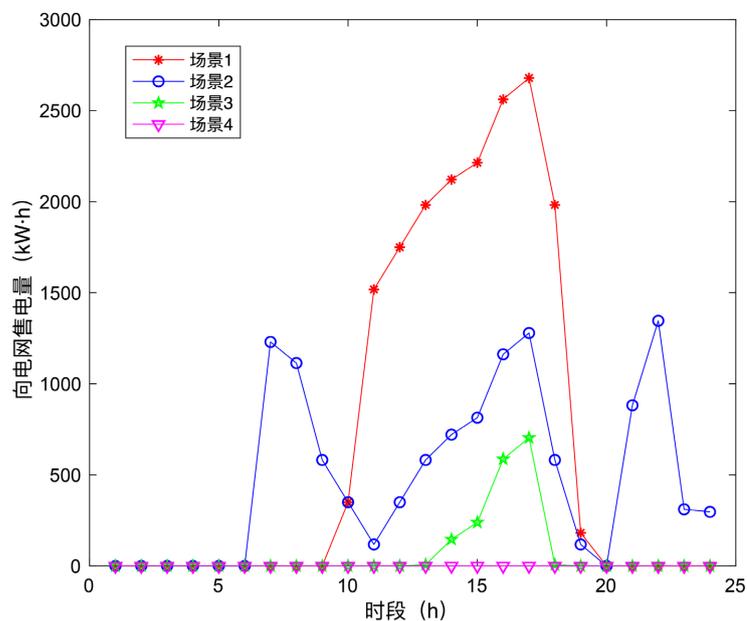


Figure 6. Selling electricity to microgrids in different scenarios  
图 6. 不同场景下向微网售电情况

### 5.2.3. 碳交易市场以及合作模式对碳排放量的影响

为探究碳交易市场对碳排放量的影响以及合作模式对碳排放影响又设置以下场景：

场景 5：不考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 进行合作，采用常规风电预测数据。

场景 6：不考虑碳交易市场，社区微网和 BSS 不进行合作，采用常规风电预测数据。

其中场景 1、2、5、6 的碳排放总量与图 7 所示：

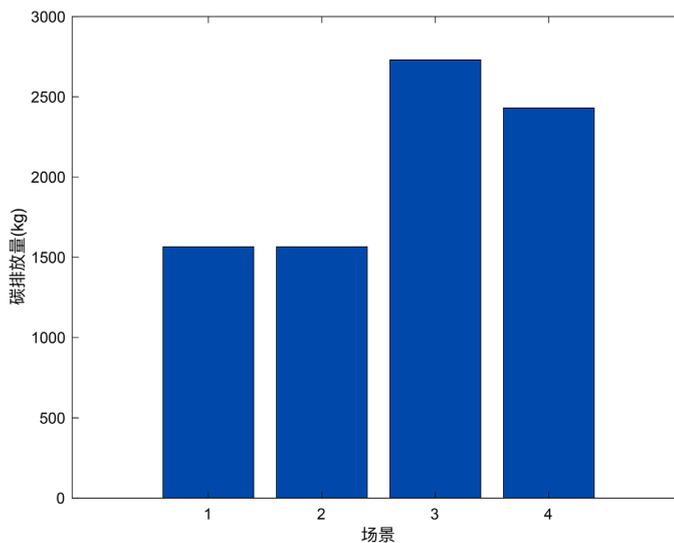


Figure 7. The total carbon emissions of community microgrids and BSS in different scenarios  
图 7. 不同场景下的社区微网与 BSS 碳排放总量

由图 7 可知：场景 1 与 2 的碳排放量明显低于场景 5 与 6，这是因为在碳交易规制下，用电单位需要支付碳配额外的碳排放成本，导致微网为了降低发电成本，减少火力机组出力，从而降低碳排放量，验证

了碳交易市场是减少碳排放量的有力措施。对比场景 5 与 6 以及 1 与 2 的碳排放量可以发现, 不考虑碳交易市场下, 合作模式会增加碳排放量, 而考虑碳交易市场下, 合作模式并没有增加碳排放量, 这是因为不考虑碳交易市场时, 火力成本并没那么高, 联盟会在考虑总体利益时增加火力机组发电进行套利行为, 使得碳排放量增加, 而在考虑碳交易市场的情况下, 火力成本增加, 使优化结果显示若继续加大火力机组发电是亏本行为故不继续增加火力发电, 碳排放量没有增加, 这说明在如今碳交易规制的大环境下, 本文所提的合作模式并不会导致火力发电过剩, 碳排放量过量增加, 验证了合作模式的非高碳性。

## 6. 结论

在碳交易规制背景下, 本文提出针对社区微网与 BSS 之间的合作模式, 以合作联盟收益最大化为目标函数, 构建考虑碳交易市场下社区微网与 BSS 的合作模型, 研究合作联盟合作策略, 仿真结果说明:

1) 合作模式能有效增加合作双方收益, 并且在面对新能源不足的情况下更能发挥显著作用, 是新能源不稳定的有效措施。

2) 相对于非合作模式下, 合作模式能够在用电高峰时向电网输送更多电量, 增加电网稳定性。

3) 碳交易规制能有效降低碳排放量, 并且在此背景下, 本文所提的合作模式并不会导致碳排放量激增。

## 基金项目

教育部产学合作协同育人项目(220501791121846); 上海理工大学大学生创新项目(XJ2024137)。

## 参考文献

- [1] 刘晋源, 吕林, 高红均, 等. 计及分布式电源和电动汽车特性的主动配电网规划[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(12): 41-48.
- [2] Ahmadian, A., Mohammadi-Ivatloo, B. and Elkamel, A. (2020) A Review on Plug-In Electric Vehicles: Introduction, Current Status, and Load Modeling Techniques. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, **8**, 412-425. <https://doi.org/10.35833/mpce.2018.000802>
- [3] 吴林林, 陈璨, 胡俊杰, 等. 支撑新能源电力系统灵活性需求的用户侧资源应用与关键技术[J/OL]. 电网技术. <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2023.0199>, 2023-11-21.
- [4] 裴振坤, 王学梅, 康龙云. 电动汽车参与电网辅助服务的控制策略综述[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(18): 17-32.
- [5] Pearre, N.S. and Ribberink, H. (2019) Review of Research on V2X Technologies, Strategies, and Operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **105**, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.047>
- [6] 李东东, 陈天旭, 沈运帷, 等. 基于联合虚拟储能系统的海岛微电网协同优化策略[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(20): 7842-7856.
- [7] 曾君, 符致敏, 黄向敏, 等. 面向电动汽车的分布式储能主动汇聚与协同优化方法研究[J]. 控制理论与应用, 2023, 40(9): 1672-1682.
- [8] 刘敦楠, 张悦, 刘明光, 等. 考虑储能备用的电动汽车负荷连续追踪弃风曲线优化模型[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(10): 193-201.
- [9] 王冠男, 杨镜非, 王硕, 等. 考虑 EV 换电站调度和区块链数据储的电网分布式优化[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(8): 110-116.
- [10] 刘敦楠, 王玲湘, 汪伟业, 等. 基于深度强化学习的大规模电动汽车充换电负荷优化调度[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(4): 36-46.
- [11] 胡福年, 付瑞东, 陈军. 基于氢能精细化利用与改进碳交易机制的能源优化调度研究[J/OL]. 控制工程, 1-9. <https://doi.org/10.14107/j.cnki.kzgc.20240464>, 2024-10-03.
- [12] 许文俊, 马刚, 姚云婷, 等. 考虑绿证-碳交易机制与混氢天然气的工业园区多能优化调度[J/OL]. 中国电力, 1-11. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.tm.20240822.1808.002.html>, 2024-10-03.
- [13] 李艺丰, 黄曲粲, 闫朝阳, 等. 基于奖惩机制碳交易的综合能源系统供需双响应低碳调控[J]. 可再生能源, 2024,

- 42(8): 1111-1119.
- [14] 檀勤良, 代美, 梅书凡. 考虑电动汽车碳配额及需求响应的电力系统调度研究[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(7): 79-86.
- [15] Bradley, T.H. and Quinn, C.W. (2010) Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Utility Factors. *Journal of Power Sources*, **195**, 5399-5408. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.02.082>
- [16] 王道平, 周玉. 考虑电商平台拼购折扣的双渠道供应链协调定价[J]. 系统工程学报, 2022, 37(4): 535-548.
- [17] 黄正伟, 鲍奕辰, 刘璐. 基于非合作博弈的 EV 换电站容量优化配置与削峰方法研究[J/OL]. 现代电力, 1-14. <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2023.0083>, 2024-10-07.
- [18] 崔杨, 李翼成, 付小标, 等. 基于换电服务定价策略及动态调控方法的含充换电站微电网系统双层优化调度[J]. 电网技术, 2023, 47(5): 1998-2011.
- [19] 张良, 孙成龙, 蔡国伟, 等. 基于 PSO 算法的电动汽车有序充放电两阶段优化策略[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(5): 1837-1852.
- [20] 魏韡, 陈玥, 刘锋, 等. 基于主从博弈的智能小区代理商定价策略及电动汽车充电管理[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 939-945.
- [21] 史文龙, 秦文萍, 姚宏民, 等. 计及电动汽车需求差异的智能电网调度策略[J]. 现代电力, 2021, 38(2): 221-232.
- [22] Peterson, S.B., Apt, J. and Whitacre, J.F. (2010) Lithium-Ion Battery Cell Degradation Resulting from Realistic Vehicle and Vehicle-to-Grid Utilization. *Journal of Power Sources*, **195**, 2385-2392. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.10.010>
- [23] 连湛伟, 石欣, 克潇, 等. 电动汽车充换电站动力电池全寿命周期在线检测管理系统[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(12): 137-142.