

DOI: 10.7667/PSPC171157

计及去产能政策的光伏制造业国际竞争力模型研究

王强^{1,2}, 谭清坤¹, 谭忠富¹

(1. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206; 2. 鄂尔多斯应用技术学院, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: 国际竞争力表现为市场参与者能够抬高市场价格的能力, 在光伏制造业市场中则表现为国际市场中光伏制造企业影响国际市场结清价格的能力。在现行的光伏制造企业产能补贴政策下, 引入去产能政策, 分别建立了完全竞争模型、Cournot 模型、Stckelberg 模型、Forchheimer 模型、Forchheimer-Stckelberg 混合模型和联盟合作模型模拟光伏制造业市场。以不同市场下的市场价格最大值为基准, 计算光伏制造企业所拥有的国际竞争力, 并且分析补贴政策及去产能政策对国际竞争力的影响。研究表明: 在 6 种模型中, 联盟合作模型的市场价格和国际竞争力最高, 合适的去产能政策可以提高各模型的市场价格。

关键词: 光伏制造业; 联盟合作模型; 国际竞争力; 去产能

International competitiveness model research of photovoltaic manufacturing industry considering the policy of reducing excessive capacity

WANG Qiang^{1,2}, TAN Qingkun¹, TAN Zhongfu¹

(1. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Ordos Institute of Applied Technology, Erdos 017000, China)

Abstract: International competitiveness is the ability of the market participants affecting the market prices which is the ability of photovoltaic manufacturing enterprises affecting the clear market prices in the photovoltaic manufacturing international market. In the current policy of photovoltaic manufacturing enterprise capacity subsidy, the policy of reduce excessive capacity is introduced. Then, the complete competition model, Cournot model, Stckelberg model, Forchheimer model, Forchheimer-Stckelberg hybrid model and alliance model are established respectively to simulate the photovoltaic manufacturing market. The international competitiveness of photovoltaic manufacturing enterprises is calculated based on the maximum market price under different markets, and the impact of subsidy policy and reducing excessive capacity policy on international competitiveness is analyzed. The results show that the market price and international competitiveness of the alliance model are the highest in the six models, and the appropriate reducing excessive capacity policy can improve the market price of each model.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 71573084).

Key words: photovoltaic manufacturing industry; alliance cooperation model; international competitiveness; reducing excessive capacity

0 引言

作为全球举足轻重的制造业大国和能源消费大国, 中国光伏制造产业在世界光伏制造产业的快速发展中, 扮演了非常重要的角色。在国家补贴政策带动下, 各级地方政府也对当地光伏制造企业进行补贴, 如江西赛维。另外, 面对当今全球面临的严重化石能源危机和环境危机, 光伏制造行业从资源

可持续性和环境友好这两个角度都具有显而易见的优势, 作为全球新兴行业的一个重要代表, 长期来看具有广阔发展前景, 吸引着大量企业参与和投资。中国拥有全球绝大部分的太阳能组件产能, 与欧美等国家的贸易摩擦不断, 给中国光伏企业的国际化发展带来了一定程度的困难。随着“一带一路”国家战略的实施, 为中国的光伏产业“走出去”开拓了新的方向。

去产能政策, 也称为化解产能过剩政策, 是指政府为了解决产品供过于求而引起产品恶性竞争的

不利局面,通过供给侧压缩产能来提高市场价格的方法。通过煤炭、钢铁等行业的去产能政策实践表明,自去产能推进以来,煤炭、钢铁等行业供求关系和竞争格局持续改善。本文将去产能政策引入光伏制造业中,分析去产能政策对光伏制造业国际竞争力的影响。

国际竞争力表现为市场参与者能够抬高市场价格的能力,在光伏制造业市场中则表现为国际市场中光伏制造企业影响国际市场结清价格的能力。国内外在国际光伏市场方面的学术文献主要集中在各国光伏市场竞争经验总结^[1]、光伏分布式应用继电保护^[2]、光伏政策影响^[3-5]、光伏产品商业应用^[6-7]、全生命周期与期权理论在光伏产品中的应用^[8-9]等几个方面。目前对市场价格竞争模型的研究主要集中在钻石模型^[10]、ANP模型^[11]、熵权TOPSIS组合模型^[12]、结构方程模型^[13]、多智能体模型^[14]、完全竞争模型、Cournot模型、Stackelberg模型、Forchheimer模型、Forchheimer-Stackelberg混合模型^[15-18]等方面。

在上述背景下,本文基于完全竞争模型、Cournot模型、Stackelberg模型、Forchheimer模型、Forchheimer-Stackelberg混合模型和联盟合作模型,构造了考虑补贴政策并引入去产能限制的光伏制造业市场竞争模型。然后,利用算例对所构造模型的市场价格进行计算,以不同市场下的市场价格最大值为基准,计算不同市场情况下的光伏制造企业所拥有的国际竞争力,并且分析了去产能政策对国际竞争力的影响。

1 光伏制造业国际市场

光伏制造业国际市场中存在着各种类型的光伏制造企业,它们的价格竞争策略将根据市场价格、供需情况、生产成本和市场份额等因素来决定,可以选择自主决策或者合作决策。自主决策通常可以从价格领导者、价格跟随者和价格接受者三种类型中选择。其中价格领导者之间相互独立竞争,决定市场价格;价格跟随者在价格领导者的影响下跟随定价;价格接受者对市场价格无影响,接受市场价格。合作决策通常可以通过互相持股、合作协议等方式确定整体获得最大收益情况下的市场价格。尽管不同光伏制造企业在市场中的策略不同,但是各光伏制造企业的目的均是使其自身的收益最大化。

设光伏制造业逆需求函数为线性函数,记为

$$p = \gamma - \theta \sum_{i=1}^N q_i \quad (1)$$

式中: p 为光伏产品市场价格; γ 、 θ 为逆需求函数的截距和斜率; q_i 为第 i 个光伏制造企业的产量;

N 为光伏制造企业个数。

为模拟光伏制造企业生产实际,光伏制造企业的成本函数用二次函数表示为

$$C(q_i) = \frac{1}{2} a_i q_i^2 + b_i q_i + c_i \quad (2)$$

式中: $C(q_i)$ 为第 i 个光伏制造企业的成本; a_i , b_i , c_i 为第 i 个光伏制造企业的成本系数。

考虑当前各级政府对光伏制造产业政策,通常分为单位产能补贴和定额补贴两种情形,光伏制造企业的补贴函数可用线性函数表示为

$$S(q_i) = d_i q_i + e_i \quad (3)$$

式中: $S(q_i)$ 为第 i 个光伏制造企业的补贴; d_i 第 i 个光伏制造企业的单位产能的补贴系数; e_i 第 i 个光伏制造企业的定额补贴。

光伏制造企业的利润最大化函数为

$$\max f(q_i) = \left(\gamma - \theta \sum_{i=1}^n q_i \right) q_i - \left(\frac{1}{2} a_i q_i^2 + b_i q_i + c_i \right) + (d_i q_i + e_i) \quad (4)$$

光伏制造企业产能约束为

$$q_{i,\min} \leq q_i \leq q_{i,\max} \quad (5)$$

式中: $q_{i,\min}$ 为第 i 个光伏制造企业的最小产能; $q_{i,\max}$ 为第 i 个光伏制造企业的最大产能。

光伏制造企业去产能指标约束为

$$q_i \leq (1 - \beta_i) q_{i,\max} \quad (6)$$

式中, β_i 为第 i 个光伏制造企业的去产能指标。

当考虑去产能指标约束时,如果第 i 个光伏制造企业的产量超过产能约束,则该光伏制造企业的产量设为约束值。即

$$q_i = \begin{cases} q_{i,\min} & (q_i > q_{i,\max}) \\ q_i & (q_{i,\min} \leq q_i \leq q_{i,\max}) \\ q_{i,\max} & (q_i < q_{i,\min}) \end{cases} \quad (7)$$

此时,由于超过产能约束的光伏制造企业的产量按产能约束值进行生产,其余未超过产能约束的光伏制造企业的产量按产能最优值进行生产。因此,对于未超过产能约束的光伏制造企业的面临的市场需求函数修改后表示为

$$p = \gamma - \theta \sum_{i=1}^L q_i - \theta \left(\sum_{i=L+1}^M q_{i,\min} + \sum_{i=M+1}^N q_{i,\max} \right) \quad (8)$$

式中: $[1, L]$ 为光伏制造企业未超过产能约束的光伏制造企业数; $[L+1, M]$, $[M+1, N]$ 分别为光伏制造企业超过产能约束下限和上限的光伏制造企业数。

2 光伏制造业国际市场模型

2.1 完全竞争(Perfect Competition)市场模型

在完全竞争市场模型情形下, 市场中仅存在接受者。所有的市场参与者的产量不足以引起产品价格的变化, 是市场价格的接受者。若用完全竞争市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 则各光伏制造企业根据国际市场光伏产品价格确定自己的最优产量以获得自身的最大利润。市场中有 N 个光伏制造企业, 可得完全竞争市场最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$P_{PC} = \frac{\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{\theta(b_i - d_i)}{a_i}}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{\theta}{a_i}} \quad (9)$$

2.2 Cournot 市场模型

在 Cournot 市场模型情形下, 市场中仅存在领导者。若用 Cournot 市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 各光伏制造企业无相互合作行为, 各厂商都知道其他厂商的产量, 独立制定各自的最佳产量, 获得最大利润。市场中有 N 个光伏制造企业, 可得 Cournot 市场最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$P_{Cn} = \frac{\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{(b_i - d_i)}{\theta + a_i}}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{\theta}{a_i}} \quad (10)$$

2.3 Stackelberg 市场模型

在 Stackelberg 市场模型情形下, 市场中存在领导者和跟随者。若用 Stackelberg 市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 领导者通过独立竞争决定市场价格, 其余企业跟随定价。市场中有 N 个光伏制造企业, 前 M 个光伏制造企业为价格领导者, 其他 $N-M$ 个光伏制造企业为价格跟随者。可得 Stackelberg 市场最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$P_{sb} = \frac{\gamma + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta(b_j - d_j)}{\theta + a_j}}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{\theta + a_j}} + \sum_{i=1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{\theta + a_j}} (b_i - d_i)}{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{\theta + a_j}} + a_i} \quad (11)$$

$$1 + \sum_{i=1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{\theta + a_j}}}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{\theta + a_j}} + a_i$$

2.4 Forchheimer 市场模型

在 Forchheimer 市场模型情形下, 市场中存在领导者和接受者。若用 Forchheimer 市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 领导者通过独立竞争决定市场价格, 其余企业接受定价。市场中有 N 个光伏制造企业, 前 M 个光伏制造企业为价格领导者, 其他 $N-M$ 个光伏制造企业为价格接受者。可得 Forchheimer 市场最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$P_{Fh} = \frac{\gamma + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta(b_j - d_j)}{a_j}}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{a_j}} + \sum_{i=1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{a_j}} (b_i - d_i)}{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{a_j}} + a_i} \quad (12)$$

$$1 + \sum_{i=1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{a_j}}}{1 + \sum_{j=M+1}^N \frac{\theta}{a_j}} + a_i$$

2.5 Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型

在 Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型情形下, 市场中存在领导者、跟随者和接受者。若用 Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 领导者通过独立竞争决定市场价格, 跟随者跟随定价, 其余企业接受定价。市场中有 N 个光伏制造企业, 前 L 个光伏制造企业为价格领导者, 第 $L+1-M$ 个光伏制造企业为价格跟随者, 最后 $N-M$ 个光伏制造企业为价格接受者, 可得 Forchheimer 市场最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$P_{FS} = \frac{\xi + \psi}{\zeta} \quad (13)$$

其中:

$$\xi = \frac{\gamma + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta(b_k - d_k)}{a_k}}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} (b_j - d_j)}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} + a_j} \quad (14)$$

$$\zeta = \frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} + a_j$$

$$1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} + a_j$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} (b_m - d_m) \\
& \frac{1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_j}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} \\
\psi = & \sum_{m=1}^L \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_m \\
& \frac{1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_j}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} \\
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} \\
\zeta = & 1 + \sum_{m=1}^L \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_m \\
& \frac{1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_j}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} \\
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}
\end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} \\
& \frac{1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_j}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} \\
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} \\
\zeta = & 1 + \sum_{m=1}^L \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_m \\
& \frac{1 + \sum_{j=L+1}^M \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}} + a_j}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}} \\
& \frac{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}{\frac{\theta}{1 + \sum_{k=M+1}^N \frac{\theta}{a_k}}}
\end{aligned} \quad (16)$$

2.6 联盟合作(Alliance Cooperation)市场模型

在联盟合作市场模型情形下, 市场中存在相互合作行为。若用联盟合作市场模型模拟光伏制造业国际市场时, 以联盟合作成员整体利益最大化为目标, 制定总产量, 各联盟成员根据联盟协议分配的配额安排生产。市场中有 N 个光伏制造企业, 达成联盟合作协议, 各自的产能配额指标及配额约束可表示为

$$\rho_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^N q_i} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^N \rho_i = 1 \quad (18)$$

式中, ρ_i 为第 i 个光伏制造企业的生产配额指标。

在联盟合作市场中光伏制造企业的目标是追求整体的利润最大化。即

$$\max f(\sum_{i=1}^n q_i) = \left(\gamma - \theta \sum_{i=1}^n q_i \right) \sum_{i=1}^n q_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} a_i q_i^2 + b_i q_i + c_i \right) + \sum_{i=1}^n (d_i q_i + e_i) \quad (19)$$

$$\frac{d[f(\sum_{i=1}^n q_i)]}{d[\sum_{i=1}^n q_i]} = 0 \text{ 可得}$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = \frac{\gamma - \sum_{i=1}^n \rho_i (b_i - d_i)}{2\theta + \sum_{i=1}^n \rho_i^2 a_i} \quad (20)$$

将其代入式(17)可得联盟合作市场模型最终的均衡点光伏产品市场价格为

$$p_{AL} = \gamma - \theta \frac{\gamma - \sum_{i=1}^n \rho_i (b_i - d_i)}{2\theta + \sum_{i=1}^n \rho_i^2 a_i} \quad (21)$$

3 光伏制造业国际竞争力模型

本文以各种市场模型最终的均衡点光伏产品市场价格的最大值为国际竞争力评价基准价格, 则上述市场模型的国际竞争力 (International Competitiveness, IC) 可表示为

$$IC_t = \frac{P_t}{\max(p_t)} \times 100\% \quad (22)$$

式中: $t = \{PC, Cn, Sb, Fh, FS, LM\}$, 表示不同类型的市场模型; IC_t 为第 t 个市场模型的光伏制造业的国际竞争力。

由此可以看出, 第 t 个市场模型的光伏制造业的国际竞争力 IC_t 越接近 100%, 则表明国际竞争力越强; 国际竞争力 IC_t 越接近 0, 则表明国际竞争力越弱。

4 算例分析

在光伏制造业国际市场中, 中国企业参与程度最高的光伏组件产品, 本文以光伏组件产品为例, 对光伏制造业国际市场进行模拟研究。光伏制造业发展初期, 在中国财政补贴政策 and 欧美发电国家光

光伏发电补贴政策的双重激励下，大量企业进入光伏制造市场，此时的市场中企业众多，可以用 Perfect Competition 模型模拟光伏制造业国际市场。例如，光伏制造业国际市场中的一些低端的光伏组件产品市场。

当部分光伏制造企业通过兼并重组，市场占有率提高，研发能力增加，产品竞争力增强，成为市场领导者，其他光伏制造企业依然为价格接受者时，可以用 Forchheimer 模型模拟光伏制造业国际市场；当部分企业随着自身产能的提升，规避市场风险，选择作为价格跟随者，根据价格领导者的产能安排自身最优产能时，可以用 Forchheimer- Stckelberg 混合模型模拟光伏制造业国际市场。例如，光伏制造业国际市场中的一些技术壁垒不高的光伏组件产品市场。

随着国际光伏制造市场竞争加剧，尤其是国际市场需求低迷时，大量的光伏制造企业被大型企业兼并重组，市场变为寡头竞争市场。当各寡头独立确定自身产能时，可以用 Cournot 模型模拟光伏制造业国际市场；当部分寡头先确定自身产能，其余寡头后确定自身产能时，可以用 Stckelberg 模型模拟光伏制造业国际市场。例如，光伏制造业国际市场中的技术壁垒较高的光伏组件产品市场。

在当前国际光伏制造市场中，光伏制造企业可以通过研发核心技术型的光伏组件产品获取垄断利润。但是，由于产品研发具有不确定性，研发投入多，单个企业投资风险大，许多企业光伏制造企业选择成立专利联盟的形式进行核心技术型光伏组件产品研发，共同承担风险，共享专利成果。通过专利联盟，确定联盟协议，从而获得最大收益，可以用 Alliance Cooperation 模型模拟光伏制造业国际市场。例如，光伏制造业国际市场中的具有核心技术的光伏组件产品市场。

本文以 12 家光伏制造企业参与的光伏制造业国际市场为例对上述市场竞争模型进行模拟验证。

4.1 国际市场条件和光伏制造企业系数

12 家光伏制造企业的生产成本系数，单位产能补贴、定额补贴、产能限制与去产能指标见表 1 所示。

光伏制造业国际市场逆需求曲线为

$$p = \gamma - \theta \sum_{i=1}^N q_i = 900 - 0.03 \sum_{i=1}^N q_i \text{ (万元/MW)} \quad (23)$$

在联盟合作市场模型情形下，12 个光伏制造企业的生产配额指标分别为 0.15, 0.15, 0.10, 0.10, 0.05, 0.05, 0.10, 0.10, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05。

表 1 光伏制造企业系数

企业	a	b	c	d	e	q _{min}	q _{max}	β
1	0.06	12	15	3	6	80	4 000	5%
2	0.05	11	13	3	6	100	5 000	5%
3	0.21	12	11	3	6	40	2 000	5%
4	0.20	10	12	3	6	40	2 000	5%
5	0.85	8	11	3	6	20	1 000	5%
6	0.75	7	10	3	6	20	1 000	5%
7	0.12	16	11	3	6	50	2 500	5%
8	0.10	15	10	3	6	60	3 000	5%
9	0.31	12	6	3	4	18	950	5%
10	0.32	14	7	3	4	18	900	5%
11	0.33	13	8	3	4	16	800	5%
12	0.35	15	9	3	4	16	800	5%

4.2 考虑产能补贴政策的不同市场的模型国际竞争力

考虑产能补贴的不同市场模型模拟光伏制造业市场的均衡结果见表 2。

考虑产能补贴政策的 6 种模型中，Alliance Cooperation 市场模型的市场价格最高，以此为基准价格，计算国际竞争力。光伏制造业国际市场模型国际竞争力由强到弱排序为：Alliance Cooperation 市场模型；Cournot 市场模型；Stackelberg 市场模型；Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型；Forchheimer 市场模型；Perfect Competition 市场模型。

4.3 综合考虑产能补贴与去产能政策的不同市场模型的国际竞争力

综合考虑产能补贴与去产能政策的不同市场模型模拟光伏制造业市场的均衡结果见表 3。

综合考虑产能补贴与去产能政策的 6 种模型中，Alliance Cooperation 市场模型的市场价格最高，以此为基准价格，计算国际竞争力。光伏制造业国际市场模型国际竞争力由强到弱排序为：Alliance Cooperation 市场模型；Cournot 市场模型；Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型；Stackelberg 市场模型；Forchheimer 市场模型；Perfect Competition 市场模型。

从表 2 和表 3 中可以看出，不管是否考虑去产能政策，Alliance Cooperation 市场模型的市场价格最高，国际竞争力最强；同时在 5% 的去产能指标政策下，市场价格并没有提高，原因在于此时各企业的最优产量小于去产能指标限制的产量，当去产能指标提高 10% 时，部分企业的最优产量大于去产能指标限制的产量，此时的市场价格提高了 9% (为 502.08 万元/MW)。另外，在去产能政策下，不同市场模型的国际竞争力排序发生变化，如 Forchheimer-Stackelberg 混合市场模型与 Stackelberg 市场模型。

表 2 考虑产能补贴政策的不同市场模型国际竞争力

Table 2 International competitiveness of different market models considering capacity subsidy policy

光伏制造企业	Perfect Competition 模型		Cournot 模型		Stackelberg 模型		Forchheimer 模型		Forchheimer-Stackelberg 混合模型		Alliance Cooperation 模型	
	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元
1	4 392.50	57.88	3 535.60	75.00	3 953.60	72.38	3 803.20	65.17	3 894.80	69.49	2 199.10	84.71
2	5 291.00	69.99	3 990.00	87.56	4 565.00	86.08	4 403.20	77.66	4 501.90	82.70	2 199.10	87.35
3	1 255.00	16.54	1 325.80	23.73	1 333.10	21.56	1 268.40	19.31	1 307.60	20.65	1 466.00	43.58
4	1 327.70	17.63	1 392.20	25.20	1 404.00	22.93	1 336.60	20.56	1 377.40	21.97	1 466.00	44.95
5	314.80	4.21	366.10	6.10	347.40	5.49	340.50	4.93	343.20	5.26	733.00	10.53
6	358.10	4.81	414.40	6.95	393.20	6.26	387.30	5.62	389.00	6.01	733.00	13.29
7	2 162.90	28.07	2 094.70	39.49	1 984.60	35.45	2 345.50	33.01	2 051.90	34.50	1 466.00	52.66
8	2 605.50	33.94	2 424.60	47.03	2 297.70	42.23	2 824.60	39.89	2 396.70	41.32	1 466.00	54.96
9	850.20	11.20	935.90	16.20	887.30	14.57	920.80	13.14	952.40	14.06	733.00	24.74
10	817.30	10.69	903.40	15.51	856.30	13.93	885.80	12.55	916.40	13.44	733.00	24.33
11	795.60	10.44	881.10	15.14	835.30	13.60	862.00	12.26	891.70	13.12	733.00	24.13
12	744.40	9.70	829.50	14.10	786.00	12.67	807.00	11.40	835.00	12.20	733.00	23.45
市场价格/ (万元/MW)	272.55		327.20		310.70		294.46		304.26		460.19	
国际竞争力	59.23%		71.10%		67.51%		63.99%		66.12%		100.00%	
总产量/MW	20 915.00		19 093.00		19 643.00		20 185.00		19 858.00		14 660.00	
总利润/亿元	275.09		372.01		347.15		315.50		334.73		488.68	

表 3 综合考虑产能补贴与去产能政策的不同市场模型国际竞争力

Table 3 International competitiveness of different market models considering capacity subsidy and reduce excessive capacity policy

光伏制造企业	Perfect Competition 模型		Cournot 模型		Stackelberg 模型		Forchheimer 模型		Forchheimer-Stackelberg 混合模型		Alliance Cooperation 模型	
	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元	产量/ WM	利润/ 亿元
1	3 800.00	63.14	3 572.40	76.57	3 800.00	73.59	3 800.00	67.40	3 800.00	74.04	2 199.10	84.71
2	4 750.00	77.15	4 031.40	89.39	4 483.00	88.12	4 270.80	79.27	4 429.00	88.19	2 199.10	87.35
3	1 334.10	18.69	1 339.60	24.23	1 344.30	22.38	1 275.40	20.08	1 343.00	22.54	1 466.00	43.58
4	1 410.80	19.90	1 406.60	25.72	1 414.90	23.79	1 342.90	21.36	1 413.20	23.96	1 466.00	44.95
5	334.30	4.75	369.90	6.23	354.20	5.71	347.50	5.13	355.50	5.75	733.00	10.53
6	380.20	5.42	418.60	7.10	400.80	6.51	395.20	5.86	402.40	6.56	733.00	13.29
7	2 301.40	31.78	2 116.80	40.33	2 024.30	36.88	2 394.70	34.41	2 032.20	37.17	1 466.00	52.66
8	2 771.60	38.41	2 450.10	48.02	2 343.50	43.93	2 883.70	41.58	2 352.60	44.28	1 466.00	54.96
9	903.80	12.66	902.50	16.39	904.90	15.15	902.50	13.67	902.50	15.25	733.00	24.74
10	855.00	12.09	855.00	15.62	855.00	14.44	855.00	13.04	855.00	14.54	733.00	24.33
11	760.00	11.69	760.00	14.83	760.00	13.77	760.00	12.54	760.00	13.86	733.00	24.13
12	760.00	10.96	760.00	14.10	760.00	13.05	760.00	11.81	760.00	13.14	733.00	23.45
市场价格/ (万元/MW)	289.16		330.51		316.65		300.37		317.84		460.19	
国际竞争力	62.84%		71.82%		68.81%		65.27%		69.07%		100.00%	
总产量/MW	20 361.00		18 983.00		19 445.00		19 988.00		19 405.00		14 660.00	
总利润/亿元	306.62		378.51		357.32		326.14		359.25		488.68	

4.4 去产能政策对不同市场模型的国际市场价格影响分析

去产能政策对不同市场模型的国际市场价格影响分析见表 4。

从表 4 可以看出, 除 Alliance Cooperation 市场模型外, 5%的去产能指标政策对其他 5 个市场模型

的市场价格和竞争力都有所提升; Perfect Competition 模型对去产能政策的敏感性最高, Forchheimer-Stackelberg 混合模型次之, Forchheimer 再次之, 由此可见, 含价格接收者的市场模型中, 对去产能政策敏感性较高。

表 4 去产能政策对不同市场模型的国际市场价格影响分析

Table 4 Analysis international market price of different market models considering reduce excessive capacity policy influence

	Perfect Competition 模型	Cournot 模型	Stackelberg 模型	Forchheimer 模型	Forchheimer-Stackel berg 混合模型	Alliance Cooperation 模型
不考虑去产能的市场 价格/(万元/MW)	272.55	327.20	310.70	294.46	304.26	460.19
考虑去产能的市场 价格/(万元/MW)	289.16	330.51	316.65	300.37	317.84	460.19
市场价格增加值	16.61	3.31	5.95	5.91	13.58	0
市场价格提升率/%	6.09	1.01	1.92	2.01	4.46	0.00

5 结论

本文利用 6 种市场竞争模型来模拟光伏制造业国际市场, 给出了考虑产能补贴政策与去产能政策的不同市场模型国际竞争力计算模型。通过 12 家光伏制造企业参与的光伏制造企业国际市场算例表明: 在考虑去产能政策时, Perfect Competition 模型、Cournot 模型、Stackelberg 模型、Forchheimer 模型、Forchheimer-Stackelberg 混合模型的市场价格均有所提高, 其中, Perfect Competition 模型, Forchheimer-Stackelberg 混合模型, Forchheimer 模型的价格提升率较高。由此可见: 含价格接收者的市场模型中对去产能政策敏感性更高; Alliance Cooperation 市场模型由于具有垄断性, 具有最高的市场价格和国际竞争力; 当参与国际市场的光伏制造企业的最优产量大于去产能指标限制的产量时, 去产能政策可以提高 6 种模型市场价格, 从而对国际竞争力和国际竞争力的排序产生影响。

参考文献

- [1] KUMAR K S, ATUL S, BISWAJIT R. Solar energy market developments in India[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 62: 121-133.
- [2] SINGH M. Protection coordination in distribution systems with and without distributed energy resources-a review[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 294-310. DOI: 10.1186/s41601-017-0061-1.
- [3] RAPINDER S, KAVERI T, BHARADWAJ V, et al. Empirical analysis of the solar incentive policy for Tennessee solar value chain[J]. Applied Energy, 2014, 131: 368-376.

- [4] CHAPMAN A J, BENJAMIN M, TETSUO T. Residential solar PV policy: an analysis of impacts, successes and failures in the Australian case[J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2016, 86: 1265-1279.
- [5] CHIU Y H, KE T Y, ZHOU Z S, et al. A performance evaluation of the cross-strait solar photovoltaic industry[J]. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2014, 6(1): 1941-1957.
- [6] 金卓勃, 向铁元, 陈红坤, 等. 考虑电能质量问题的分布式光伏发电接入规划方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(9): 1-8.
JIN Zhuoqing, XIANG Tiejuan, CHEN Hongkun, et al. Planning method of distributed photovoltaic power generation considering power quality[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(9): 1-8.
- [7] 初壮, 李钊, 白望望. 计及不确定性和环境因素的多类型分布式电源选址定容[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(13): 34-41.
CHU Zhuang, LI Zhao, BAI Wangwang. Optimal siting and sizing of distributed generations considering uncertainties and environmental factors[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(13): 34-41.
- [8] CORONA B, CERRAJERO E, LÓPEZ D, et al. Full environmental life cycle cost analysis of concentrating solar power technology: contribution of externalities to overall energy costs[J]. Solar Energy, 2015, 135: 758-768.
- [9] ZENG Y X, Klabjana D, Arinez J. Distributed solar renewable generation: option contracts with renewable energy credit uncertainty[J]. Energy Economics, 2015, 48:

- 295-305.
- [10] 张凯竣, 雷家骥. 中国光伏制造业国际竞争力评价分析[J]. 科技促进发展, 2013(2): 21-24.
ZHANG Kaijun, LEI Jiasu. Analysis on the international competitiveness of Chinese photovoltaic manufacturing industry[J]. Science & Technology for Development, 2013(2): 21-24.
- [11] 黄晗, 莫东序, 程婉静. 基于 ANP 模型的绿色港口竞争力评价[J]. 技术经济, 2017(2): 117-122.
HUANG Han, MO Dongxu, CHENG Wanjing. Evaluation on competitiveness of green port based on analytical network process[J]. Technology Economics, 2017(2): 117-122.
- [12] 刘艳, 曹伟, 王晏晏. “一带一路”内陆节点城市物流业竞争力评价——基于熵权 TOPSIS 组合模型[J]. 技术经济, 2016(11): 68-72.
LIU Yan, CAO Wei, WANG Yanyan. Evaluation on competitiveness of logistics industry of inland node cities in “one belt and one road”: based on combination mode of entropy weight and TOPSIS[J]. Technology Economics, 2016(11): 68-72.
- [13] 陆菊春, 黄晓晓, 刘罗. 基于结构方程模型的建筑业低碳竞争力形成机理分析[J]. 技术经济, 2013(9): 60-64.
LU Juchun, HUANG Xiaoxiao, LIU Luo. Analysis on formation mechanism of building industry's low-carbon competitiveness based on structural equation modeling[J]. Technology Economics, 2013(9): 60-64.
- [14] 黄仙, 郭睿. 一种电力市场环境下的电源规划多智能体模型[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 1-8.
HUANG Xian, GUO Rui. A multi-agent model of generation expansion planning in electricity market[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 1-8.
- [15] 袁智强, 邓超平, 蒋传文, 等. 电力寡头垄断市场的均衡分析[J]. 继电器, 2004, 32(5): 7-11.
YUAN Zhiqiang, DENG Chaoping, JIANG Chuanwen, et al. Analysis of equilibrium in oligopolistic electricity market[J]. Relay, 2004, 32(5): 7-11.
- [16] 钟宇峰, 黄民翔, 文福拴, 等. 计及绿色证书交易机制的大用户直购电市场均衡分析[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(2): 144-150.
ZHONG Yufeng, HUANG Minxiang, WEN Fushuan, et al. Equilibrium analysis of direct electricity purchase with green certificate mechanism[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(2): 144-150.
- [17] 袁智强, 侯志俭, 蒋传文, 等. 电力市场古诺模型的均衡分析[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 6-10.
YUAN Zhiqiang, HOU Zhijian, JIANG Chuanwen, et al. Analysis of Cournot equilibrium in electricity market[J]. Power System Technology, 2003, 27(12): 6-10.
- [18] 杨力俊, 乞建勋, 谭忠富, 等. 寡头垄断市场中不同价格形成机制的市场力分析[J]. 中国管理科学, 2005, 13(1): 83-90.
YANG Lijun, QI Jianxun, TAN Zhongfu, et al. Market power analysis of different price decision system in oligopoly market[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1): 83-90.

收稿日期: 2017-08-01; 修回日期: 2017-09-01

作者简介:

王强(1985—), 男, 博士研究生, 研究方向为电力经济; E-mail: edwangqiang@163.com

谭清坤(1988—), 男, 博士研究生, 研究方向为电力经济; E-mail: 912192589@qq.com

谭忠富(1964—), 男, 通信作者, 博士后, 教授, 博导, 研究方向为电力经济。E-mail: tanzhongfubeijing@126.com

(编辑 葛艳娜)