

引用格式:吴军,李曼,徐广妹,等.碳排放总量控制下行业间碳配额分配的博弈机制研究[J].北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(6):115–120.

WU Jun, LI Man, XU GuangShu, et al. Carbon quota allocation among industries with carbon emission control by using game model[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020,47(6):115–120.

碳排放总量控制下行业间碳配额分配的博弈机制研究

吴 军¹ 李 曼¹ 徐广妹² 王 璇^{1*} 尹文琦³

(1.北京化工大学 经济管理学院,北京 100029; 2.北京物资学院 物流学院,北京 101149;

3.国家市场监督管理总局 全国组织机构代码数据服务中心,北京 100029)

摘 要:为了向实现 2030 年中国碳减排目标提供参考,构建了某省内行业间的配额分配权重的不完全信息动态博弈模型,将该省内参与配额分配的行业根据减排严格程度分为低、中、高 3 个等级,通过引入行业减排优先顺序和配额分配权重构建各行业配额分配支付函数,并通过逆向归纳法求得博弈模型的纳什均衡。最后为了辅助实施减排,控制排放总量,引入了激励与约束机制。研究表明:行业减排优先顺序和分配权重的引入使最终的分配结果不仅考虑了行业的历史减排量,而且将行业减排责任考虑在内,体现了我国共同但有差别的原则,从而使得分配结果更为科学合理;为避免各行为追求经济效益而缺乏减排驱动力引入奖惩机制,使得配额分配后的减排政策能够更加有效地实施。

关键词:碳配额分配;行业减排;优先顺序;权重;动态博弈

中图分类号: F272 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2020.06.015

引 言

针对温室气体控制减排问题,目前已有的研究提出了两种基于经济市场的激励方式,即碳交易市场和碳税。但就目前的发展形势来看,在全球经济市场下碳交易市场在碳减排问题上占据主流。碳交易市场的发展关系到经济和生态环境的发展,因此,建立一个高效、成熟的碳交易市场具有重要意义。

在碳交易市场运行中,合理分配碳配额是促进区域减排的重要部分。目前来看,初始碳配额分配方式主要有 3 种:拍卖、免费发放和定价出售^[1]。其中免费发放配额包括历史法和基准法,并且历史法分配方式更为常用^[2]。对于碳配额的分配问题,当前主要的研究集中于不同省区间、某一省市或某类

行业方面。在不同省区间配额分配的研究方面, Han 等^[3]利用综合指数通过综合加权法模拟京津冀地区的碳配额分配。Li 等^[4–5]基于双目标规划模型(BPM)和最大偏差法(MDM)进行珠三角地区配额分配的研究,在激发所有参与者积极性的同时优化减排成本。Kong 等^[6]和 Zhou 等^[7]运用数据包络分析(DEA)模型,评估了中国各省市间的 CO₂ 排放绩效并进行 CO₂ 排放配额分配。在某一省市碳配额分配的研究方面, Gao 等^[8]基于人均历史累计排放量相等的原则,以上海为例建立了碳排放分配标准。Dong 等^[9]基于遵循公平原则的分配结果,采用修正的固定成本分配模型(FCAM)确定中国各省的允许排放量。王庆山等^[10]引入“弱关联性”的概念,通过建立零和博弈 DEA 模型,分别研究了我国七大试点省市的碳排放权分配效率。黄贺林等^[11]建立了环境库兹涅茨曲线模型,研究了河北省免费配额分配比例及重点管理行业的筛选问题。在某类行业碳配额分配的研究方面,赵文会等^[12]以电力行业为研究主体,通过建立 Cournot 模型分析了不同配额分配策略对该行业的影响。Han 等^[13]使用灰色预测模型设计了运输部门的碳排放交易机制,并提供了敏感性分析。Zhao 等^[14]基于模糊随机变量的交互式

收稿日期:2020-04-13

基金项目:北京市社会科学基金(17GLB032);北京化工大学一流学科建设专项资金(XK1802-5);2019 年研究生教育教学改革项目(G-JG-PT201915);2018 年本科教育教学改革项目(2018BHDJGY33)

第一作者:男,1974 年生,教授,博士生导师

* 通信联系人

E-mail: wxuan@mail.buct.edu.cn

求解方法鼓励建材行业供应商调整其生产和碳排放配额购买计划。赵凤彩等^[15]基于欧盟碳交易体系配额分配方式理论,研究了航空货运企业实际配额分配的合理性和公平性。

近年来,博弈论被广泛运用于碳减排问题中。在碳交易定价问题上,谢晶晶等^[16]基于合作博弈理论研究了碳配额价格机制。Wen 等^[17]开发了一个双寡头博弈模型,研究了企业在市场竞争中面对碳排放交易价格和消费者碳意识的压力时的碳减排和定价策略。在企业 and 政府策略选择上,焦建玲等^[18]建立了地方政府和企业群体行为的演化博弈,为政府实施减排制度提供了有力建议。郭军华等^[19]建立了演化博弈模型并进行分析,建议政府为促进企业减排应降低减排成本并提高消费者的绿色节能意识。在供应链减排方面,骆瑞玲等^[20]针对单制造商和单零售商组成的供应链,构建了 3 种决策类型的博弈模型,探讨了碳限额及碳减排成本对供应链成员决策及减排效果的影响。可见,博弈论在碳减排问题中有多方面的应用,但在碳配额分配问题上的应用却并不多见,如令狐大智等^[21]利用双寡头博弈模型研究了不同碳配额分配机制对不同企业的影响,但在分析中并没有提出具体的配额量化分配方案。

综上所述,当前已有很多学者对我国碳配额的分配问题进行了深入研究。本文在已有研究的基础上,从省内不同行业间的碳配额分配问题入手,将权重分配与博弈论结合,构建碳配额权重博弈模型,同时引入奖惩机制,最终给出了不同行业在碳限额范围内达成碳配额分配权重的纳什均衡。

1 行业间初始碳配额分配权重博弈

1.1 2030 年某省碳配额总量预测

本文假设在 2030 年实现了 60% 的碳强度减排目标,依据已有文献^[4,22],用于估算 2030 年某省可供分配的碳排放配额总量 Q_{2030} 的计算公式如下。

$$C_t = \frac{E_t}{G_t} \quad (1)$$

$$Q_{2030} = 0.4 C_{2005} G_{2030} \quad (2)$$

式中, C_t 为 t 年碳排放强度, E_t 为某省在 t 年的碳排放量, G_t 为 t 年的国内生产总值(GDP),这里假设该省 GDP 年增长率为 6.5%。利用式(1)、(2)估算出 2030 年该省在实现承诺的前提下可用于分配的碳配额总量。

1.2 碳配额权重博弈要素

碳配额的分配过程是一个多方参与的利益冲突问题,根据已有的研究成果,在实施减排政策时,一般应有行业减排优先次序^[23-24]。

本文将减排行业按减排严格程度逐渐增大的顺序分为 3 个等级,即等级 1、等级 2、等级 3。在该省不同行业间碳配额分配过程中,各行业为追求经济效益作出决策,且各等级行业不同时作出决策,因此该过程为动态博弈过程,具体如下:

1) 参与方 $N = (\text{等级 1, 等级 2, 等级 3})$;

2) 策略配额为 $Q_i (i=1,2,3)$, $S = \{s_i\}$ 为参与方策略集合,其中 s_i 表示参与方 i 的策略选择,在本文的配额分配中,策略集合 $S = \{s_1, s_2, s_3\}$,其中 $s_i = Q_i$ 。

在文献[7]、[25]的计算形式基础上,加入配额分配权重系数,可以得到配额分配量函数为

$$Q_i = Q_{2030} \times \frac{\lambda_i E_i}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \quad (3)$$

式中, Q_i 为等级 i 行业最终分配的碳配额, E_i 为等级 i 行业 2030 年在进行减排前需排放的碳总量, λ_i 为等级 i 行业的碳配额权重系数。在该配额分配机制下,由于引入了行业减排优先顺序,则在整个决策过程中各等级行业将依次按分配的先后顺序对自身分配权重进行决策,且由于不同行业间的信息获取存在一定的局限性,参与碳配额分配博弈中的各方对其余参与者的效益未能及时了解,因此,该问题是一个不完全信息动态博弈问题。

1.3 行业间初始碳配额分配权重博弈

在进行碳配额总量分配后,不同等级行业为追求自身最大经济效益作出决策,该过程称为行业间初始碳配额分配权重博弈。为了研究不同等级行业间碳配额初始分配下权重博弈的决策问题,本文作出的假设如下。

假设 1 在配额分配的初始时期,主要是以 2030 年总量排放目标为导向进行分配,而确定超量排放现象的发生是在进行配额分配后,若排放量超过分配量则为超排,反之则未超排。因此超量排放的问题是在进行配额分配后需要考虑的,在初始分配权重博弈阶段,假设各等级行业均在碳限额内进行排放,即暂不考虑超量排放的现象。

假设 2 在该阶段,不同等级行业配额分配利润 π 由其收益和成本决定,即 $\pi(Q_i) = K(Q_i) - C(Q_i)$,其中 $K(Q_i)$ 为收益原始表达式, $C(Q_i)$ 为成

本原始表达式。依据已有文献中的函数构建^[26]进行假设,考虑行业收益与 Q_i 存在非线性关系。设置 k_i 为各行业碳配额分配的综合效益系数, c_i 为综合成本系数,则不同行业配额分配利润表达式为 $\pi(Q_i) = k_i Q_i^2 - c_i Q_i$ 。

使用 Stackelberg 模型进行建模,并将式(3)代入假设 2 中的配额分配利润表达式,得到各行业配额分配支付函数具体为

$$\pi(\lambda_i) = k_i \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_i E_i \right)^2 - c_i \cdot \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_i E_i \right) \quad (4)$$

由逆向归纳法进行求解,首先考虑在给定一组 (λ_1, λ_2) 情形下,等级 3 行业的最优选择,即

$$\max \pi(\lambda_3) = k_3 \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_3 E_3 \right)^2 - c_3 \cdot \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_3 E_3 \right) \quad (5)$$

满足

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_3} = 0 \\ \frac{\partial^2 \pi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial^2 \lambda_3} < 0 \end{cases} \quad (6)$$

从而求解得出

$$\lambda_3 = \frac{c_3}{E_3} \times \frac{\lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2}{2k_3 Q_{2030} - c_3} \quad (7)$$

根据式(7)决定碳配额分配权重,则等级 2 行业的最优化目标为

$$\max \pi(\lambda_2) = k_2 \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_2 E_2 \right)^2 - c_2 \cdot \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_2 E_2 \right) \quad (8)$$

满足

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_2} = 0 \\ \frac{\partial^2 \pi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial^2 \lambda_2} < 0 \end{cases} \quad (9)$$

解此一阶条件,得到使等级 2 行业碳排放配额分配下效益最大化的配额分配权重系数 λ_2^* ,从而使得等级 2 行业效益最大化。同理可求出等级 1 的行业分配最优权重 λ_1^* 。故该博弈纳什均衡解为 $(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \lambda_3^*)$ 。在该均衡解下,各等级行业分获最优收益。

2 碳排放总量控制下配额分配权重博弈

政府政策的颁布实施在碳交易市场运行中不仅有着重要的引导作用,同时也起着重要的规范作用,因此适当的奖惩制度可以促使各行业在总量控制下理性、合理控排。在假定实现减排目标的前提下,各行业受到碳配额总量的控制,在追求自身最大经济效益即 λ_i^* 的同时,必须考虑自身排放量是否超过政府分配碳配额量,以保证碳排放总量在目标范围之内。因此,需要对参与碳配额分配的行业设置激励与约束机制,对于通过加强减排措施使碳排放量控制在分配限额之内的行业给予奖励,对于为追求高经济效益不注重减排甚至超量排放的行业给予相应惩罚。

碳排放总量控制下配额分配权重博弈即通过引入奖惩机制控制行业碳排放总量,建立碳配额分配博弈模型。引入奖惩机制后各行业配额分配支付函数为

$$\pi(\lambda_i) = k_i \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_i E_i \right)^2 - c_i \cdot \left(\frac{Q_{2030}}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i E_i} \lambda_i E_i \right) - \max \{0, nP(E_i - Q_i)\} \quad (10)$$

式中, $\max \{0, nP(E_i - Q_i)\}$ 为惩罚金额函数, n 为惩罚倍数, P 为碳配额市场价格。下面分两种情况进行说明:

1) 当 $E_i > Q_i$ 时,行业超限额量排放,此时应予以惩罚,初始收益受到损失,惩罚金额即损失为 $nP(E_i - Q_i)$ ^[27];

2) 当 $E_i \leq Q_i$ 时,行业排放量在限额内,此时 $nP(E_i - Q_i)$ 值为负,则惩罚金额函数值为 0,不予惩罚。在该种情况下,政府给予履约行业适当的扶持政策,如降低税收、投资合作等措施,可以起到激励减排的作用。

通过奖惩机制的引入,各行业在进行碳排放决策时不再只考虑配额分配的经济效益,而需要把奖

惩机制所带来的效益影响考虑在内,尤其是尽量避免由超量排放带来的惩罚所造成的经济损失,因此尽可能采取减排措施将排放量控制在限额范围内,从而实现控制排量的目标。

3 实例分析

根据文献[18]、[21]、[28],设定参数如表1所示。同时,根据文献[23]中的数据显示及行业划分方式,将第一产业、轻工业和第三产业这类排放量相对较低的行业划为等级1,将交通运输、仓储、邮政业、化学原料和化学制品制造业这类排放量相对较高的行业划为等级2,将采掘业和制造业这类排放量高且经济实力较强的行业划为等级3。因此设定某省参与配额分配行业的总碳排放量为单位1,则等级1、等级2、等级3的行业总排放量分别为0.2、0.3、0.5,并设置碳价初始值为10^[18]。在暂不考虑超额排放的前提下,求解各等级行业的分配参数(式(7)),得到该省参与碳配额分配的各行业分配权重系数的子博弈精炼纳什均衡结果,见表2,其中 Q'_i 为未对各行业加以减排约束后2030年各等级行业的配额分配量(排放量)。由表2可见,将行业减排优先顺序考虑进配额分配过程中后,分配权重 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ 。并且由权重系数的引入,根据式(1)~(2)计算得出2030年在实现中国碳减排承诺下可用于分配的各等级碳配额量 Q_i ,对比未对各行业加以减排约束下2030年各等级行业的配额分配量 Q'_i ,可见最终分配量并未因历史排放量高而获得相对更高的碳配额量。

表1 相关参数值

Table 1 Values of the related parameters

参数	数值		
	等级1	等级2	等级3
成本系数 c_i	9.4	9.6	9.8
效益系数 k_i	9.6	9.8	10
排放量 E_i	0.2	0.3	0.5

表2 配额分配计算结果

Table 2 The quota allocation calculation results

参数	数值			总计
	等级1	等级2	等级3	
权重 λ_i	0.900	0.602	0.364	
分配比例	0.332	0.333	0.335	1
分配量 Q_i	0.72	0.722	0.728	2.17
分配量 Q'_i	1.085	1.628	2.714	5.427

将表1的参数值代入奖惩函数式(式(10))中,可以得到不同激励政策下行业奖惩情况如表3所示。由表3可知,当减排行业不存在超量排放行为时,惩罚值为0,该行业将受到政府在税收或其他政策方面的支持;当减排行业存在超量排放行为时,在政府不同惩罚程度下受到的惩罚值不同,此时政府机构应综合考虑行业自身及减排情况选择惩罚力度。而在任何惩罚程度下,企业在超量排放后均会受到政府惩罚,此时均会对其整体收益造成冲击,从而促使其自觉选择节能减排行为。

表3 不同奖惩机制下行业排放行为收益差

Table 3 The income difference of industrial emission behavior under different reward and punishment mechanisms

排放情况	惩罚值		
	等级1	等级2	等级3
未超排	0	0	0
超排	3 倍	-10.95	-28.98
	5 倍	-18.25	-48.3

4 结论

以碳减排为目标,构建了某省内行业间的配额分配权重的不完全信息动态博弈模型。通过引入行业减排优先顺序和配额分配权重构建各行业配额分配支付函数,进而通过逆向归纳法求得博弈模型的纳什均衡。通过引入激励与约束机制来辅助实施减排、控制排放总量。最后通过数值计算得到行业分配权重分别为(0.900,0.602,0.364),分配比例分别为(0.332,0.333,0.335)。

参考文献:

[1] 丁丁,冯静茹.论我国碳交易配额分配方式的选择[J].国际商务-对外经济贸易大学学报,2013(4):83-92.
DING D, FENG J R. On China's allocation method of carbon trading quota [J]. International Business, 2013 (4): 83-92. (in Chinese)
[2] 宣晓伟,张浩.碳排放权配额分配的国际经验及启示[J].中国人口·资源与环境,2013,23(12):10-15.
XUAN X W, ZHANG H. International experience and lessons of carbon emission permit allocation method [J]. China Population Resources and Environment, 2013, 23(12): 10-15. (in Chinese)

- [3] HAN R, TANG B J, FAN J L, et al. Integrated weighting approach to carbon emission quotas: an application case of Beijing – Tianjin – Hebei region [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 131: 448 – 459.
- [4] LI L X, YE F, LI Y N, et al. A bi-objective programming model for carbon emission quota allocation: evidence from the Pearl River Delta region [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 205: 163 – 178.
- [5] LI L X, LI Y N, YE F, et al. Carbon dioxide emissions quotas allocation in the Pearl River Delta region: evidence from the maximum deviation method [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 177: 207 – 217.
- [6] KONG Y C, ZHAO T, YUAN R, et al. Allocation of carbon emission quotas in Chinese provinces based on equality and efficiency principles [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211: 222 – 232.
- [7] ZHOU Z B, LIU C J, ZENG C M, et al. Carbon emission performance evaluation and allocation in Chinese cities [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172: 1254 – 1272.
- [8] GAO G K, CHEN S, YANG J M. Carbon emission allocation standards in China: a case study of Shanghai city [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2015, 7: 55 – 62.
- [9] DONG F, LONG R Y, YU B L, et al. How can China allocate CO₂ reduction targets at the provincial level considering both equity and efficiency? Evidence from its Copenhagen Accord pledge [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2018, 130: 31 – 43.
- [10] 王庆山, 李健. 弱关联性约束下中国试点省市碳排放权分配效率研究[J]. *软科学*, 2016, 30(3): 81 – 84, 107.
WANG Q S, LI J. The distributional efficiency of carbon emission allowances among pilot cities in China under “weak dependence” [J]. *Soft Science*, 2016, 30(3): 81 – 84, 107. (in Chinese)
- [11] 黄贺林, 席增雷. 河北省碳市场配额分配问题研究[J]. *生态经济*, 2017, 33(8): 52 – 55, 97.
HUANG H L, XI Z L. Research on quota allocation methods in Hebei’s carbon market [J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(8): 52 – 55, 97. (in Chinese)
- [12] 赵文会, 高姣倩, 宋亚君. 基于 Cournot 模型的电力行业初始碳排放权分配策略研究[J]. *软科学*, 2017, 31(1): 76 – 80.
ZHAO W H, GAO J Q, SONG Y J. Research on initial allocation strategy of carbon emission permit in electric power industry based on Cournot model [J]. *Soft Science*, 2017, 31(1): 76 – 80. (in Chinese)
- [13] HAN R, YU B Y, TANG B J, et al. Carbon emissions quotas in the Chinese road transport sector: a carbon trading perspective [J]. *Energy Policy*, 2017, 106: 298 – 309.
- [14] ZHAO S W, SHI Y, XU J P. Carbon emissions quota allocation based equilibrium strategy toward carbon reduction and economic benefits in China’s building materials industry [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 189: 307 – 325.
- [15] 赵凤彩, 张卫景, 刘蒙蒙. 全球航空货运碳排放配额分配问题研究[J]. *生态经济*, 2015, 31(1): 60 – 64.
ZHAO F C, ZHANG W J, LIU M M. Research on allocation issues of global carbon emissions quota for air cargo [J]. *Ecological Economy*, 2015, 31(1): 60 – 64. (in Chinese)
- [16] 谢晶晶, 窦祥胜. 基于合作博弈的碳配额交易价格形成机制研究[J]. *管理评论*, 2016, 28(2): 15 – 24.
XIE J J, DOU X S. Carbon cap-and-trade pricing mechanism based on cooperative game theory [J]. *Management Review*, 2016, 28(2): 15 – 24. (in Chinese)
- [17] WEN W, ZHOU P, ZHANG F Q. Carbon emissions abatement: emissions trading vs consumer awareness [J]. *Energy Economics*, 2018, 76: 34 – 47.
- [18] 焦建玲, 陈洁, 李兰兰, 等. 碳减排奖惩机制下地方政府和企业行为演化博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(10): 140 – 150.
JIAO J L, CHEN J, LI L L, et al. A study of local governments’ and enterprises’ actions in the carbon emission mechanism of subsidy or punishment based on the evolutionary game [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(10): 140 – 150. (in Chinese)
- [19] 郭军华, 孙林洋, 张诚, 等. 碳限额交易政策下双寡头企业碳减排决策的演化博弈分析[J]. *软科学*, 2019, 33(3): 54 – 60.
GUO J H, SUN L Y, ZHANG C, et al. Evolutionary game analysis of duopoly enterprise’s emission reduction decision under cap-and-trade mechanism [J]. *Soft Science*, 2019, 33(3): 54 – 60. (in Chinese)
- [20] 骆瑞玲, 范体军, 夏海洋. 碳排放交易政策下供应链碳减排技术投资的博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(11): 44 – 53.
LUO R L, FAN T J, XIA H Y. The game analysis of carbon reduction technology investment on supply chain under carbon cap-and-trade rules [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(11): 44 – 53. (in Chinese)
- [21] 令狐大智, 叶飞. 基于历史排放参照的碳配额分配机

- 制研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 65 – 72.
- LINGHU D Z, YE F. Quota allocation mechanism based on historical emissions of carbon [J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(6): 65 – 72. (in Chinese)
- [22] ZHAO R, MIN N, GENG Y, et al. Allocation of carbon emissions among industries/sectors: an emissions intensity reduction constrained approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 3083 – 3094.
- [23] 陈洁, 焦建玲, 李方一, 等. 行业减排的优先次序与差别对策研究[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1373 – 1382.
- CHEN J, JIAO J L, LI F Y, et al. Sector order and different strategies to reduce CO₂ emissions [J]. Resources Science, 2016, 38(7): 1373 – 1382. (in Chinese)
- [24] 叶飞, 令狐大智. 双寡头竞争环境下的碳配额分配策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(12): 3038 – 3046.
- YE F, LINGHU D Z. Carbon quota allocation policy in duopoly[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2015, 35(12): 3038 – 3046. (in Chinese)
- [25] FENG Z Y, TANG W H, NIU Z W, et al. Bi-level allocation of carbon emission permits based on clustering analysis and weighted voting: a case study in China[J]. Applied Energy, 2018, 228: 1122 – 1135.
- [26] 赵道致, 原白云, 夏良杰, 等. 碳排放约束下考虑制造商竞争的供应链动态博弈[J]. 工业工程与管理, 2014, 19(1): 65 – 71.
- ZHAO D Z, YUAN B Y, XIA L J, et al. Dynamic game study in supply chain with manufacturers' competition under the constraint of productions' emission [J]. Industrial Engineering and Management, 2014, 19(1): 65 – 71. (in Chinese)
- [27] 史学瀛, 杨博文. 控排企业碳交易未达履约目标的罚则设定[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(4): 35 – 42.
- SHI X Y, YANG B W. Penalty rule design for emissions control firms not achieving carbon trading performance goals [J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(4): 35 – 42. (in Chinese)
- [28] 李媛, 赵道致, 祝晓光. 基于碳税的政府与企业行为博弈模型研究[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 125 – 131.
- LI Y, ZHAO D Z, ZHU X G. A game model for government and enterprise behaviour based on a carbon tax [J]. Resources Science, 2013, 35(1): 125 – 131. (in Chinese)

Carbon quota allocation among industries with carbon emission control by using game model

WU Jun¹ LI Man¹ XU GuangShu² WANG Xuan^{1*} YIN WenQi³

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029; 2. Logistics School, Beijing Wuzi University, Beijing 101149; 3. China Organization Data Service, State Administration for Market Regulation, Beijing 100029, China)

Abstract: To achieve China's carbon emission reduction target in 2030, one dynamic game model of quota allocation weight among industries is constructed. Firstly, by introducing the priority of industry emission reduction and the weight of quota allocation, the payment function of each industry quota allocation is constructed. Secondly, with backward induction, the Nash equilibrium of the game model is obtained. Finally, incentive mechanism are introduced for better emission reduction policy making. The results show that the introduction of emission reduction priority and distribution weight makes the final distribution results more scientific and reasonable.

Key words: carbon quota allocation; industry emission reduction; priorities; weight; dynamic game

(责任编辑:吴万玲)