

基于混合寡头垄断模型的碳排放交易机制社会福利分析*

周强^{1,2}, 陈雁玲³, 陈哲³

(1. 云南师范大学 泛亚商学院, 昆明 650092; 2. 重庆南开中学校, 重庆 400030; 3. 四川大学 商学院, 成都 610065)

摘要:构建了基于混合寡头垄断模型的碳排放交易市场,分别计算了企业进入碳排放交易市场前后的均衡产量决策以及社会福利的变化情况,讨论了碳配额分配政策与社会福利之间的联系。研究结果表明在基于混合寡头模型的碳排放交易市场中,政府对碳配额分配政策做适当的优化可以在不损失环境有效性的前提下提高社会福利,推广了已有的一些成果,充实了混合双寡头垄断模型下碳排放交易体系中的社会福利分析,为政府产业政策的制定提供了理论依据。

关键词:碳市场;双寡头垄断;碳减排;社会福利

中图分类号:O225; F062.9

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2024)02-0129-08

1 研究背景

自21世纪以来,气候变化逐渐成为热点话题,全球变暖引起了学者们的广泛关注,人们普遍认识到温室效应对自然环境、社会经济、生态文明等造成的恶劣影响将直接威胁到人类的生存与发展。2007年联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental panel on climate change, IPCC)发布了第4份全球气候评估报告,指出气候变暖已经是“毫无争议”的事实;且截至本世纪末,预计气温将上升 $1.1\sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。过高的温室气体排放活动是导致气候变暖的主要原因,因此,为了防止气候变暖造成不可逆转的损害,实现全球温室气体减排目标,世界各国对于建设低碳经济以应对全球变暖的共识以及承担二氧化碳减排任务不断加强,政府或监管机构有必要采取有力措施控制温室气体排放,设计并完善低碳政策理论迫在眉睫。

环境政策工具主要分为排放税、拍卖污染许可证、自由分配的可转让许可证和补贴这4大类^[2]。根据环境政策工具,经济学家主要提出了2项帮助降低碳排放的政策,以价格控制为特征的碳税政策和以数量控制为特征的碳排放交易机制^[3]。与碳税相比,碳排放交易政策存在以下优势:1)排放税将产生较大的政治阻力^[4],而碳排放交易更容易被市场接受^[5];2)碳排放交易可以达到特定数量的减排目标,适用于较为严格的减排形势^[6];3)碳排放许可按照拍卖方式进行分配时可以带来拍卖收入,若被用于降低其他扭曲性税收,会产生经济红利^[7];4)限额交易制度在减少排放和促进清洁创新方面比碳税更有效^[8]。总之,由于碳排放交易政策所具有的灵活性和成本效益,已成为实现二氧化碳减排目标最重要的途径之一。

截至2020年4月,全球已有31个碳排放权交易市场,如欧盟排放交易体系、英国排放交易体系、美国加州碳市场、新西兰碳排放交易体系等。自2011年起,中国在北京、天津、上海等地相继开展了碳排放权交易试点工作;并于2021年全国碳排放权交易市场启动上线交易。中国的碳交易市场将成为全球覆盖温室气体排放量规模最大的市场。在市场交易中,企业除了受到自身生产成本约束和企业竞争外,还受到政府政策制定规则的影响,因此是否将企业纳入碳交易市场、如何将企业纳入碳交易市场、市场参与者如何有效利用市场信息使得环境和经济效益得到良性增长这类问题非常具有研究价值,有关碳排放交易政策的研究也是未来实现减碳目标的一个关键方向,对现实具有重要的研究意义。

已有文献中对碳排放权交易的研究主要分为2个方面:一是对环境有效性进行研究。例如,Chen等人^[8]研

* 收稿日期:2023-04-10 修回日期:2024-02-22 网络出版时间:2024-05-13T17:08

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 71471122);教育部人文社科规划基金一般项目(No. 21YJA790007);重庆市教育科学规划重点课题(No. 2020-07-203)

第一作者简介:周强,男,高级教师,研究方向为博弈论与数理经济, E-mail: 282548924@qq.com;通信作者:陈哲,男,教授,博士, E-mail: chenzhe@scu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20240513.0930.006

究了非对称双寡头垄断下碳配额交易制度对企业绩效和环境保护的影响,从碳配额和碳交易价格 2 个角度得出了低排放上限和高排放交易价格都有利于促进可持续发展的结论;Chen 等人^[9]比较了有无碳市场情况下的双寡头垄断模型的配额交易制度的减排效果以及实施碳排放歧视政策对减排效果产生的影响;同样基于双寡头模型,Wen 等人^[10]研究了企业在面临碳排放交易价格和消费者碳意识的压力时碳减排努力和定价策略,发现对于旨在降低不同竞争水平的碳排放的政策制定者来说,提高碳价格可能是比提高消费者意识更好的选择;耿文欣等人^[11]基于 2005—2017 年中国省际面板数据,运用合成控制法估计和评价了湖北试点政策对该地区能源强度的影响,得出了试点政策明显促进了湖北能源强度的下降,降幅为 4.89%;吴茵茵等人^[12]分别从理论和实证 2 个角度分析与检验了中国的碳交易市场对实现碳减排的理论机理,并利用双重差分模型完成了碳市场有效降低中国地区碳排放的实证检验。二是对市场有效性进行研究。例如,Wang 等人^[13]在双寡头垄断模型的基础上研究了碳抵消方案对排放交易参与者的利润和行业产出的影响;Wang 等人^[14]从理论上考察了在市场势力存在时,排放许可分配方法的选择对排放交易系统成本效益的影响;Rocha 等人^[15]对某电网进行限额交易政策的不同设计,详细研究了限额交易政策对均衡发电扩张计划和电力市场运营的影响;Du 等人^[16]在碳交易系统中设计了 1 个由依赖排放的制造商和供应商组成的供应链,重点研究在该交易系统中排放上限对制造商和供应商的利润以及相关供应链与分配公平造成的影响。纵观这些文献的内容,碳排放交易市场虽然是政府为达到减排目标人为赋予温室气体交易价值的市场,但也需体现在改善社会经济如消费者剩余、生产者利润等层面,所以讨论碳排放交易政策对社会福利水平的影响十分必要。

此外,以双寡头垄断视角讨论碳排放交易的研究十分常见,然而市场中往往存在不同的市场主体,如国有或者股权混合所有的国有控股企业这类不以利润最大化为目标的市场主体,所以对混合寡头垄断模型的研究也是现实的,然而现有文献中多数研究仅涉及混合寡头垄断市场中税收、补贴等政策的实施效果,对碳排放交易政策的讨论还较少,如 White^[17]构建混合寡头垄断模型,研究了补贴的成本分配效应对社会福利的影响以及最优补贴政策在混合寡头垄断模型中的公有企业私有化前后实施对社会福利产生影响的差异;Haruna 等人^[18]在混合寡头垄断条件下,利用税收政策来控制减排求出了企业的最优税收政策和最佳减排程度,并得出公有企业具有均衡的正减排能力以及私有化往往会使环境变得更糟这一结论;Wang 等人^[19]在一个具有差异化产品的混合寡头垄断条件下研究了碳税的作用,并得出当产品具有高度可替代性时,环境会随着私有化路径而改善但社会福利会随之恶化这一结论;同样,Barcena-Ruiz 等人^[20]设计了环境标准政策下的混合垄断市场模型,并将之与纯寡头垄断模型进行对比,得出不同情形下政府在做出私有化决策来最大化社会福利的理论依据。由此可见,政策的实施效果往往也受到寡头垄断市场的市场主体类型的影响,在混合寡头垄断模型中研究碳交易政策的实施也具有现实意义。

基于对上述文献梳理不难发现,关于混合寡头垄断市场条件下碳市场政策的研究较少,同时还缺少混合寡头和纯寡头垄断之间的政策效果比较,在讨论碳交易市场的影响中也较少涉及社会福利方面的分析。因此,根据 White^[17]对混合寡头垄断市场和 Chen 等人^[9]对碳交易市场的设计,本文首先定义了 2 类垄断模型并引入碳排放交易体系的基本概念和假设;再分析了混合寡头垄断模型下碳交易政策对环境和社会福利的影响,求出了使得社会福利最大化的排放基准水平;进一步求出了在私有寡头垄断模型下碳交易政策对环境和社会福利的影响以及最优政策;最后分别在混合寡头垄断与纯寡头垄断模型实施最优政策的情形下,详细比较了碳排放量和社会福利的变化。主要贡献包括:第一,建立了混合寡头和纯寡头垄断模型,分别纵向讨论了参与企业在加入碳交易市场前后的产出变化及受碳市场政策的影响,得到进入碳市场将提高排放强度较低的私有企业的产出和降低排放强度较高的公有企业的产出这一结论,求出了均衡产出下实现减排目标的基准值范围;第二,详细讨论了碳排放交易政策的实施对社会福利各组成要素的影响,得出改善社会福利各组成要素的基准值范围,以及社会福利最大化的最优政策;第三,横向比较了最优碳配额机制下的混合垄断市场与私有垄断市场的环境变化和社会福利变化,得出当这 2 类市场初始产出相同时,将排放强度高的企业在实施最优政策前公有化会使得政策效果得到最好的发挥。本文的研究结果为政府制定合理的碳交易政策提供了理论依据。

2 问题描述及模型建立

2.1 问题描述

考虑到当前市场上不只存在一类市场主体,本文设计了 2 种类型的市场主体,构建了混合垄断市场和私有

垄断市场。假设由生产和销售同质产品的双寡头企业组成产品市场。在混合垄断市场中,假设企业1是私有企业,企业2是公有企业;在私有垄断市场中,两者都是私有企业。根据文献 Matsumura 理论^[21],私有企业的目标为企业利润最大化,而公有化企业的目标则为最大化社会福利。在这2类垄断市场中碳市场政策实施效果以及二者对比是接下来讨论的重点。

为了分析模拟在这2种市场主体中的碳排放交易政策对环境和社会福利的影响,在碳排放权交易市场中,政府按照基准分配法则分配一定的免费碳排放权给企业。根据文献[22-23]中的思路,碳排放权交易市场也是一个完全竞争市场,企业是碳交易市场的价格接受者,当企业生产所排放的二氧化碳大于分配到的碳排放权时,企业需要向碳配额充足的企业以市场碳交易价格进行购买,同理,在进行生产后碳排放权仍有剩余的企业可以将碳排放权自行销售以获取利润。

2.2 模型假设

根据对问题的描述,在模型建立过程中,本文提出以下假设:

1) 企业所生产的产品完全相同,在市场中可互相替代,同时产品市场面临线性的反需求曲线 $p(Q)=a-Q$, 其中: $Q=q_1+q_2$ 是整个市场中的总产品数, q_1 是企业1的产量, q_2 是企业2的产量。

2) 根据文献[18],在混合垄断模型中,非线性成本函数更具有代表性,所以本文假设企业面临的生产成本为 $c(q_i)=\frac{1}{2}q_i^2$ 。

3) 在碳排放权交易市场中按照基准分配规则,企业 i 初始分配到的碳排放权受自身产出的影响,是关于产出的函数 $e_b q_i$, 其中: e_b 代表政府设定的单位产品的基准排放水平。

4) 根据碳排放权交易体系,当企业 i 进入碳市场时,购买(或出售)的二氧化碳排放权为 $\Delta e_i = p_i q_i - e_b q_i$, 其中: p_i 表示企业 i 的碳排放强度,该排放强度短期内不改变,且假设 $p_1 \leq p_2$ 。

5) 根据 Wang 等人^[23]的研究结果可知,基准分配法下的基准值设计原则与碳排放密度相关,所以本文合理假设基准排放水平 e_b 满足 $p_1 \leq e_b \leq p_2$ 。

6) 企业生产过程中的总碳排放量为 $E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^2 p_i q_i$ 。

7) 遵循文献[2],社会福利(W)包括消费者剩余(S_c)、生产者剩余(S_p)和环境损害(D)3部分。

8) 假设环境损害是关于碳排放量的线性函数,因此,环境损害因子 φ 表示碳排放对环境产生污染造成的经济损失程度。

2.3 模型建立

在碳排放交易市场,企业 i 的利润函数主要由产品收益、生产成本和碳排放成本构成,即:

$$\pi_i = p(Q)q_i - c(q_i) - P_c \Delta e_i = (a - (q_1 + q_2))q_i - \frac{1}{2}q_i^2 - P_c(\rho_i q_i - e_b q_i), \quad (1)$$

其中: P_c 是碳交易市场中碳排放权的价格。

根据逆需求函数推导的消费者剩余函数为:

$$S_c = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2,$$

2个企业生产过程中排放的总碳排放量为:

$$E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^2 E_{\text{total},i} = \sum_{i=1}^2 \rho_i q_i, \quad (2)$$

参考文献[24]的方法,生产者剩余部分用2家寡头企业的利润来衡量,排放二氧化碳造成的环境损害函数用 φE_{total} 表示,即以环境损害系数 φ 乘以企业排放的碳总量来衡量,所以社会福利函数的表达式为:

$$W = S_c + S_p - D = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 + \pi_1 + \pi_2 - \varphi E_{\text{total}}. \quad (3)$$

3 混合垄断市场中碳排放交易政策的实施

3.1 碳排放交易政策对环境的影响

在混合垄断市场中,企业1的目标是使生产利润最大化,企业2的目标是使社会福利最大化。当无碳交易

时,为了追求各自的目标最大化,分别对式(1)和(3)求一阶导数,可得企业的均衡产量为:

$$\begin{cases} q_1^m = \frac{a + \varphi\rho_2}{5}, \\ q_2^m = \frac{2a - 3\varphi\rho_2}{5}. \end{cases} \quad (4)$$

同理,在碳交易市场中求得的均衡产量为:

$$\begin{cases} q_{b1}^m = \frac{a + \varphi\rho_2 + P_c(e_b + \rho_2 - 2\rho_1)}{5}, \\ q_{b2}^m = \frac{2a - 3\varphi\rho_2 + P_c(2e_b + \rho_1 - 3\rho_2)}{5}. \end{cases} \quad (5)$$

根据式(4)和(5)可以得到建立碳排放交易前后的均衡产量之间的关系以及碳排放交易市场的均衡产量与政府所设置的碳基准值的关系分别为:

$$q_1^m < q_{b1}^m, q_2^m > q_{b2}^m, \frac{\partial q_{b1}^m}{\partial e_b} = \frac{P_c}{5}, \frac{\partial q_{b2}^m}{\partial e_b} = \frac{2P_c}{5}, \frac{\partial q_{b1}^m}{\partial e_b} < \frac{\partial q_{b2}^m}{\partial e_b}.$$

在引入碳排放权交易政策后,如果监管机构采用基准分配法并且基准值的设置满足 $\rho_1 \leq e_b \leq \rho_2$ 这一原则,那么企业 1 的均衡产量会增加,而企业 2 的均衡产量会减少。然而,企业的均衡产量都随着基准排放水平的提高而增加,并且企业双方的产量与对手企业的碳排放强度呈负相关,与自身的碳排放强度呈正相关。将这些发现总结为下述命题。

命题 1 如果监管机构设置的基准值在区间 $[\rho_1, \rho_2]$ 中,引入排放交易计划后企业 1 的产量会增加,而企业 2 的产量会减少,并且这 2 家企业都有动机降低各自的碳排放强度以生产更多的产品来抢占市场。

这些结果直观地解释是:正如由基准分配法则中所知道的, $P_c e_b q_{bi}$ 这部分可以被视为监管者分配给企业的一种补贴以抵消该企业加入碳市场后的碳排放交易成本负担。由于补贴的规模与排放强度呈负相关,那么 2 家公司都有动机降低排放强度以获得更多补贴。而在加入碳交易市场之后,因为企业 2 的碳排放强度大于企业 1 的碳排放强度,即企业 2 的生产成本将大于企业 1,这导致企业 1 能生产更多的产品,而企业 2 则需要减少生产来避免过度的生产扭曲。相应地,根据总碳排放量式(2),原碳排放量和实施碳排放交易政策后总碳排放量的变化分别为:

$$E_{\text{total}}^m = \rho_1 q_1^m + \rho_2 q_2^m = \frac{((2-m)\rho_1 + 2\rho_2)a + (\rho_1 - 3\rho_2)m\varphi\rho_2}{8-3m},$$

$$\Delta E_{\text{total},b}^m = E_{\text{total},b}^m - E_{\text{total}}^m = \rho_1 q_{b1}^m + \rho_2 q_{b2}^m - (\rho_1 q_1^m + \rho_2 q_2^m) = \frac{P_c[(\rho_1 + 2\rho_2)e_b - (\rho_1 - \rho_2)^2 - \rho_1^2 - 2\rho_2^2]}{5}.$$

命题 2 如果 $\rho_1 \in (0, \rho_2/2)$,碳排放交易政策的实施直接能够有效提高环境效率;如果 $\rho_1 \in (\rho_2/2, \rho_2)$,只有当基准值设置小于 $\frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}$ 时,碳排放政策的实施才能够有效改善环境。

证明 设 $\Delta E_{\text{total},b}^m = E_{\text{total},b}^m - E_{\text{total}}^m$,且有 $P_c \neq 0$,所以

$$\Delta E_{\text{total},b}^m < 0 \Rightarrow \frac{P_c}{5}[(\rho_1 + 2\rho_2)e_b + 2\rho_1\rho_2 - 2\rho_1^2 - 3\rho_2^2] < 0 \Rightarrow$$

$$[(\rho_1 + 2\rho_2)e_b + 2\rho_1\rho_2 - 2\rho_1^2 - 3\rho_2^2] < 0 \Rightarrow e_b < \frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}.$$

然后可以得出:

$$\frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2} - \rho_2 = \frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 - \rho_1\rho_2 - 2\rho_2^2}{\rho_1 + 2\rho_2} =$$

$$\frac{2\rho_1^2 + \rho_2^2 - 3\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2} = \frac{(\rho_2 - 2\rho_1)(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1 + 2\rho_2}.$$

所以,若 $2\rho_1 \leq \rho_2$,则有:

$$\rho_2 \leq \frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2} \Rightarrow \min\left(\frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}, \rho_2\right) = \rho_2;$$

反之亦然。

证毕

该命题的直观解释如下:在实施碳排放交易政策之后,设置的有效基准值会扭曲企业的产量,具体表现为碳排放强度低的企业产出上升而碳排放强度高的企业产出下降。当 2 个企业的碳排放强度有一定差距($\rho_1 \in (0, \rho_2/2)$)时,碳排放交易政策的实施可以直接提高环境效率;而当企业的碳排放强度相差无几时,政府应设计一个更精确的基准值以改善环境。

3.2 碳排放交易政策对社会福利的影响

简便起见,对社会福利的分析将按照社会福利函数分为消费者剩余函数、生产者剩余函数和环境损益函数,由于前文已经分析了碳排放总量的变化即环境损益函数的变化,接下来将消费者剩余和生产者剩余的变化分别表示为:

$$\Delta S_{c,b} = S_{c,b} - S_c = \frac{1}{2}(q_{b1} + q_{b2})^2 - \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2;$$

$$\Delta S_{p,b} = \pi_{b1} - \pi_1 + \pi_{b2} - \pi_2 = \Delta \pi_{b1} + \Delta \pi_{b2}。$$

命题 3 如果监管机构设置基准排放水平为大于 $\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3}$,那么在引入碳排放交易计划后,消费者剩余和生产者剩余都会得到提高。

证明 首先,将均衡产量带入消费者剩余函数,可以得到:

$$\Delta S_{c,b}^m = S_{c,b}^m - S_c^m = \frac{1}{2}(q_{b1}^m + q_{b2}^m)^2 - \frac{1}{2}(q_1^m + q_2^m)^2 =$$

$$\frac{1}{2}(q_{b1}^m - q_1^m + q_{b2}^m - q_2^m)(q_{b1}^m + q_1^m + q_{b2}^m + q_2^m) = \frac{1}{2}(\Delta q_{b1}^m + \Delta q_{b2}^m)(q_{b1}^m + q_1^m + q_{b2}^m + q_2^m)。$$

由于实际产量不存在负数,即 $q_{b1}^m, q_1^m, q_{b2}^m$ 和 q_2^m 必须大于等于 0,由此可推,当 $\Delta S_{c,b}^m > 0$ 时,有:

$$\Delta q_{b1}^m + \Delta q_{b2}^m > 0 \Rightarrow \frac{P_c}{5}(3e_b - \rho_1 - 2\rho_2) > 0 \Rightarrow e_b > \frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} = e_b^{s_c}。$$

易得:

$$e_b^{s_c} - \rho_1 = \frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} - \rho_1 = \frac{2(\rho_2 - \rho_1)}{3} > 0;$$

$$\rho_2 - e_b^{s_c} = \rho_2 - \frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{3} > 0。$$

为了更清楚地计算生产者剩余的变化,分别计算 2 个企业均衡利润的变化。其中,企业 1 的利润变化表示为:

$$\Delta \pi_{b1}^m = \pi_{b1}^m - \pi_1^m = (a - (q_{b1}^m + q_{b2}^m))q_{b1}^m - \frac{1}{2}q_{b1}^{m^2} - P_c(\rho_1 q_{b1}^m - e_b q_{b1}^m) - (a - (q_1^m + q_2^m))q_1^m + \frac{1}{2}q_1^{m^2} =$$

$$\left(a - 3q_1^m - q_2^m - \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^m\right)\Delta q_{b1}^m + (P_c e_b - P_c \rho_1 - \Delta q_{b2}^m)q_{b1}^m = -\frac{3}{2}\Delta q_{b1}^{m^2} + 3\Delta q_{b1}^m q_{b1}^m = \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^m (q_1^m + q_{b1}^m)。$$

同理,由于 q_{b1}^m 和 q_1^m 不存在负数情形,已证 $\Delta q_{b1}^m > 0$,所以 $\Delta \pi_{b1}^m > 0$ 是必然的,即企业 1 的利润一定会增加。对于企业 2 的利润变化,同样计算得:

$$\Delta \pi_{b2}^m = \pi_{b2}^m - \pi_2^m = (a - (q_{b1}^m + q_{b2}^m))q_{b2}^m - \frac{1}{2}q_{b2}^{m^2} - P_c(\rho_2 q_{b2}^m - e_b q_{b2}^m) - (a - (q_1^m + q_2^m))q_2^m + \frac{1}{2}q_2^{m^2} =$$

$$\left(a - q_2^m - q_1^m + \frac{1}{2}\Delta q_{b2}^m\right)\Delta q_{b2}^m = \left(\frac{1}{2}q_{b2}^m + \frac{2a + 7\varphi\rho_2}{10}\right)\Delta q_{b2}^m。$$

已证 $\Delta q_{b2}^m < 0$,所以 $\Delta \pi_{b2}^m < 0$ 是必然地,即企业 2 的利润一定会减少,而总利润为:

$$\Delta S_{p,b}^m = \Delta \pi_{b1}^m + \Delta \pi_{b2}^m = \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^m (2q_1^m + \Delta q_{b1}^m) + \left(a - q_2^m - q_1^m + \frac{1}{2}\Delta q_{b2}^m\right)\Delta q_{b2}^m =$$

$$(a - q_2^m)\Delta q_{b2}^m + (3\Delta q_{b1}^m - \Delta q_{b2}^m)q_1^m + \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^{m^2} + \frac{1}{2}\Delta q_{b2}^{m^2} =$$

$$\frac{3a + 3\varphi\rho_2}{5}\Delta q_{b2}^m + (3\Delta q_{b1}^m - \Delta q_{b2}^m)q_1^m + \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^{m^2} + \frac{1}{2}\Delta q_{b2}^{m^2}。$$

让 $e_b > e_b^{s_c}$, 于是有:

$$\begin{aligned}\Delta q_{b2}^m &= \frac{P_c(2e_b + \rho_1 - 3\rho_2)}{5} > \frac{P_c\left(2\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} + \rho_1 - 3\rho_2\right)}{5} = \frac{P_c(\rho_1 - \rho_2)}{3}; \\ \Delta q_{b1}^m &= \frac{P_c(e_b + \rho_2 - 2\rho_1)}{5} > \frac{P_c\left(\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} + \rho_2 - 2\rho_1\right)}{5} = \frac{P_c(\rho_2 - \rho_1)}{3}; \\ 3\Delta q_{b1}^m - \Delta q_{b2}^m &= 3\frac{P_c(\rho_2 - \rho_1)}{3} - \frac{P_c(\rho_1 - \rho_2)}{3} = \frac{4P_c(\rho_2 - \rho_1)}{3}.\end{aligned}$$

因此, 当政府所设基准排放水平满足提高消费者剩余这一条件时, 也可以推出:

$$\begin{aligned}\Delta S_{p,b}^m &= \frac{3a + 3\varphi\rho_2}{5}\Delta q_{b2}^m + (3\Delta q_{b1}^m - \Delta q_{b2}^m)q_1^m + \frac{3}{2}\Delta q_{b1}^{m^2} + \frac{1}{2}\Delta q_{b2}^{m^2} > \frac{P_c(\rho_2 - \rho_1)}{3}\left(4q_1^m - \frac{3a + 3\varphi\rho_2}{5}\right) + 2\Delta q_{b1}^{m^2} = \\ &= \frac{P_c(\rho_2 - \rho_1)}{3}\left(\frac{4a + 4\varphi\rho_2}{5} - \frac{3a + 3\varphi\rho_2}{5}\right) + 2\Delta q_{b1}^{m^2} = \frac{P_c(\rho_2 - \rho_1)(a + \varphi\rho_2)}{15} + 2\Delta q_{b1}^{m^2} > 0.\end{aligned}$$

所以, 当基准排放水平大于 $\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3}$ 时, 进入碳交易市场可以提升增加消费者剩余和生产剩余。

证毕

这意味着基准排放水平的合理设置可以为企业生产提供动力, 这将带动消费端和生产端效益的双重提升。总结基准排放水平对社会福利的影响, 本文发现: 宽松的基准值会提升消费者剩余和生产者剩余, 而严格的基准值则更容易减少碳排放量来降低社会福利中的环境损害部分。并且还找到了一个既能使得社会福利提高又不损害环境效益的基准值的折中范围, 具体如下。

命题 4 在 $\rho_1 \in (0, \rho_2/2]$ 情况下, 基准值设置在区间 $e_b \in \left[\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3}, \rho_2\right)$, 社会福利和环境有效性会同时得到提升; 在 $\rho_1 \in (\rho_2/2, \rho_2)$ 情况下, 基准值设置在区间 $e_b \in \left[\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3}, \frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}\right]$, 社会福利和环境效益也会同时得到提升。

证明 已证 $e_b^{t_c} \in (\rho_1, \rho_2)$, 当 $2\rho_1 < \rho_2 \Rightarrow \rho_2 \leq e_b^{t_c}$ 时, $e_b^{s_c} < e_b^{t_c}$ 成立; 当 $2\rho_1 > \rho_2 \Rightarrow \rho_2 \leq e_b^{t_c}$ 时, 有:

$$e_b^{t_c} - e_b^{s_c} = \frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2} - \frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} = \frac{5(\rho_2 - \rho_1)^2}{3(\rho_1 + 2\rho_2)} > 0.$$

因此, $e_b^{s_c} < e_b^{t_c}$ 恒成立, 意味着恒存在一个基准值设计区间使得 $W_b^m > W^m$ 成立。

证毕

为了直接验证基准排放水平与社会福利之间的关系, 设 $\Delta W_b^m = W_b^m - W^m$, $W_b^{m'}(e_b)$ (或 $\Delta W_b^{m'}(e_b)$) 表示成社会福利 ΔW_b^m 关于基准排放水平 e_b 的一阶导函数, 以此类推, 二阶导函数为:

$$W_b^{m''}(e_b) = \Delta W_b^{m''}(e_b) = \frac{16}{25}P_c^2 > 0.$$

因此, 社会福利函数 W_b 是关于基准排放水平 e_b 的凸函数, 即当 $W_b'(e_b) = 0$ 时的 e_b 值会使得社会福利最小。综上所述, 在该混合模型中政府可以通过设计一个最优的基准排放水平, 使得在不降低环境有效性的前提下最大化社会福利, 且该社会福利优于碳排放交易政策实施之前, 具体设计如下。

命题 5 在 $\rho_1 \in (0, \rho_2/2]$ 情况下, 直接设置基准排放水平与企业最高的碳排放强度相等就可以在不损害环境的前提下最大化社会福利; 而在 $\rho_1 \in (\rho_2/2, \rho_2)$ 情况下, 只有将基准排放水平设置成 $\frac{2\rho_1^2 + 3\rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}$ 才能在不损害环境有效性的前提下最大化社会福利。

证明 首先, 已证明社会福利函数 W_b^m 是关于基准值的 e_b 的凸函数, 当 W_b^m 最小时, $e_b^* = \frac{7\rho_1 + 9\rho_2}{16} + \frac{5\varphi\rho_1 + 9\varphi\rho_2}{16P_c} - \frac{a}{P_c}$ 。然后可推出:

$$e_b^{s_c} - e_b^* = \frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3} - \frac{7\rho_1 + 9\rho_2}{16} + \frac{16a - 5\varphi\rho_1 - 9\varphi\rho_2}{16P_c} =$$

$$\frac{5(\rho_2 - \rho_1)}{48} + \frac{16a - 5\varphi\rho_1 - 9\varphi\rho_2}{16P_C} > \frac{5(\rho_2 - \rho_1)}{48} + \frac{16a - 14\varphi\rho_2}{16P_C} > 0。$$

所以, $e_b^s > e_b^*$ 得证, 即恒存在 $e_b^{E_{\text{total}}} > e_b^s > e_b^*$ 。使用拉格朗日定理, 假设 $e_b \in (e_b^s, e_b^{E_{\text{total}}})$, 已知 $W_b^{m'}(e_b^*) = 0$, 有:

$$W_b^{m'}(e_b) - W_b^{m'}(e_b^*) = W_b^{m''}(\zeta)(e_b - e_b^*) \Rightarrow W_b^{m'}(e_b) = W_b^{m''}(\zeta)(e_b - e_b^*) > 0,$$

其中: $\zeta \in (e_b, e_b^*)$ 。

因此, 当 $e_b \in (e_b^s, e_b^{E_{\text{total}}})$ 时, $W_b^{m'}(e_b) > 0$ 恒成立, 说明社会福利函数 W_b 是关于 e_b 在区间 $(e_b^s, e_b^{E_{\text{total}}})$ 的增函数, W_b^m 的最大值在该区间的右端点取得。证毕

4 结论与建议

本文基于混合寡头理论构建了包含公有和私有能源生产企业在内的碳排放交易市场模型, 在公有制企业排放较高的假设基础上, 讨论了不同能源生产企业进入碳排放交易市场前后的最优生产决策和社会福利的变化情况。本文的主要结果表明在混合制碳排放交易市场中, 政府监管者对基准排放值进行适当地设计都可以在不恶化环境的前提下提高社会福利, 该结论扩充了研究碳交易市场对环境和社会福利影响的理论内容。此外, 本文也细致地验证了最优基准值的存在, 当2个企业的碳排放强度大相径庭时, 简单地令基准值等于最高的碳排放强度就是改善社会福利的最佳处理方式, 而当2个企业碳排放强度相差甚微时, 设置一个更加精细的基准值才是提高社会福利的最优选择, 这一结论为政府进行碳排放交易政策的设计提供了新的理论基础。

根据上述结论, 本研究提出以下建议: 第一, 将行业纳入碳交易市场之前, 政府应积极关注市场, 根据各行业现状动态调整企业股权结构, 力争放大碳交易政策的实施效果。第二, 站在社会福利最大化的角度, 政府应当尽快完善各行业的数据收集工作, 加快企业与国家碳交易平台的数字化联动并根据企业的碳排放及环境状况设计符合实际的基准排放水平。第三, 政府应引导和鼓励企业在市场中戮力同心, 尽可能消除决策过程中的信息损失, 在现实中实现理论上的环境与经济双赢的目标。

当然, 本文仍存在一些不足之处有待进一步研究。首先, 为了简化企业的行为, 本文未曾对企业的减排技术进行讨论, 这与现实情况中企业不仅可以通过碳交易也可以通过自主减排技术来平衡企业的碳排放的现状不符。其次, 本文仅在混合垄断市场与私有市场2种情形下进行了讨论, 忽略现实中存在部分私有化的企业, 其中私有化因素如何影响碳市场的决策和社会福利等也是一个值得探索的问题, 这也是未来的研究方向。

参考文献:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: synthesis report, summary for policymakers[EB/OL]. [2023-04-09]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_spm.pdf
- [2] PHANEUF D J, REQUATE T. A course in environmental economics: theory, policy, and practice[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- [3] NORDHAUS W. The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world[M]. New Haven: Yale University Press, 2013.
- [4] NEWELL R G, PIZER W A. Indexed regulation[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2008, 56(3): 221-233.
- [5] ELLERMAN A D. A note on tradeable permits[J]. Environmental and Resource Economics, 2005, 31(2): 123-131.
- [6] MURRAY B C, NEWELL R G, PIZER W A. Balancing cost and emissions certainty, an allowance reserve for cap-and-trade[J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2009, 3(1): 84-103.
- [7] STAVINS R N. Addressing climate change with a comprehensive US cap-and-trade system[J]. Oaford Review of Economic Policy, 2008, 24(2): 298-321.
- [8] CHEN Z R, NIE P Y. Implications of a cap-and-trade system for emission reductions under an asymmetric duopoly[J]. Business Strategy and the Environment, 2020, 29(8): 3135-3145.
- [9] CHEN Z, SU Y, WANG X Y, et al. The price discrimination and environmental effectiveness in carbon emission trading schemes: a theoretical approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 283: 125196.
- [10] WEN W, ZHOU P, ZHANG F. Carbon emissions abatement: emissions trading vs consumer awareness[J]. Energy Economics, 2021, 100: 105555.

2018,76:34-47.

- [11] 耿文欣,范英. 碳交易政策是否促进了能源强度的下降:基于湖北试点碳市场的实证[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(9):104-113.
- GENG W X,FAN Y. Does a carbon trading policy contribute to energy intensity reduction?[J]. China Population,Resources and Environment,2021,31(9):104-113.
- [12] 吴茵茵,齐杰,鲜琴,等. 中国碳市场的碳减排效应研究:基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济,2021,8:114-132.
- WU Y Y,QI J,XIAN Q, et al. The carbon emission reduction effect of China's carbon market: from the perspective of the coordination between market mechanism and administrative intervention[J]. China Industrial Economics,2021,8:114-132.
- [13] WANG Z H,WANG C. How carbon offsetting scheme impacts the duopoly output in production and abatement: analysis in the context of carbon cap-and-trade[J]. Journal of Cleaner Production,2015,103:715-723.
- [14] WANG M,ZHOU P. Impact of permit allocation on cap-and-trade system performance under market power[J]. The Energy Journal,2020,41(6):215-231.
- [15] ROCHA P,DAS T K,NANDURI V, et al. Impact of CO₂ cap-and-trade programs on restructured power markets with generation capacity investments[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems,2015,71:195-208.
- [16] DU S F,ZHU L L,LIANG L, et al. Emission-dependent supply chain and environment-policy-making in the cap-and-trade system[J]. Energy Policy,2013,57:61-67.
- [17] WHITE M D. Mixed oligopoly, privatization and subsidization[J]. Economics Letters,1996,53(2):189-195.
- [18] HARUNA S,GOEL R K. Optimal pollution control in a mixed oligopoly with research spillovers[J]. Australian Economic Papers,2019,58(1):21-40.
- [19] WANG L F S,WANG J. Environmental taxes in a differentiated mixed duopoly[J]. Economic Systems,2009,33(4):389-396.
- [20] BARCENA-RUIZ J C,GARZÓN M B. Mixed oligopoly and environmental policy[J]. Spanish Economic Review,2006,8:139-160.
- [21] MATSUMURA T. Partial privatization in mixed duopoly[J]. Journal of Public Economics,1998,70(3):473-483.
- [22] CHEN Z,CHEN Y L,SU Y, et al. The CO₂ cost pass-through in nonlinear emission trading schemes[J]. Journal of Commodity Markets,2023,30:100286.
- [23] WANG M,ZHOU P. Does emission permit allocation affect CO₂ cost pass-through? a theoretical analysis [J]. Energy Economics,2017,66:140-146.
- [24] GENG W X,FAN Y. Emission trading in an imperfectly competitive product market: a comparison of social welfare under mass- and rate-based schemes[J]. Computers & Industrial Engineering,2021,162:107761.

Operations Research and Cybernetics

The Welfare Analysis in Emission Trading Schemes Based on a Mixed Oligopoly Approach

ZHOU Qiang^{1,2}, CHEN Yanling³, CHEN Zhe³

(1. Fanya Business School, Yunnan Normal University, Kunming 650092; 2. Chongqing Nankai Middle School, Chongqing 400030; 3. Business School, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: This article constructs a carbon emissions trading market based on a mixed oligopoly model, and calculates the equilibrium output decisions and changes in social welfare for firms before and after entering the carbon emissions trading market. The relationship between carbon quota allocation policies and social welfare is discussed. Our main research results show that in the carbon emissions trading market based on the mixed oligopoly model, the government can improve social welfare without sacrificing environmental effectiveness by appropriately optimizing carbon quota allocation policies. The main results of this article extend some of the previous research findings and enrich the analysis of social welfare in the carbon emissions trading system under the mixed duopoly model, providing some theoretical basis for the formulation of government industrial policies.

Keywords: emission trading scheme; mixed oligopoly; carbon reduction; social welfare

(责任编辑 黄 颖)