

南北碳排放配额政策博弈分析与策略选择^①

杨仕辉^{1,2}, 魏守道^{2,3}, 翁蔚哲²

(1. 暨南大学资源环境与可持续发展研究所, 广州 510632; 2. 暨南大学经济学院, 广州 510632;
3. 广东金融学院工商管理系, 广州 510521)

摘要: 在回顾碳减排政策演变的基础上, 基于双变量(贸易比较优势和环境比较优势)、碳排放配额政策和不完全市场竞争假设, 构建了两阶段的政府碳排放配额政策与企业碳减排水平选择的博弈模型, 应用逆向求解法得到了均衡解; 进而考虑激励相容条件和参与约束条件, 得到全局稳定均衡最优解及其条件, 从福利、贸易、环境效应等多个角度分析比较了南北国家碳排放许可证政策、碳排放配额许可交易政策和许可交易碳排放权合作政策的选择条件。结果表明: 从改善福利来看, 碳排放配额许可交易市场能够促进资源在国家间的有效配置、实现Pareto改进; 从改善环境来看, 许可交易碳排放权合作政策最好, 碳排放许可证政策最差; 从改善贸易来看, 三种政策难分伯仲, 但许可交易碳排放权合作政策更有利于北方国家, 碳排放配额许可交易政策更有利于南方国家。三种政策均不可能实现环境和贸易同时改善, 短期内南方国家仍会优先选择碳排放配额许可交易政策, 发达国家试图短期内实现全球环境政策合作还不够现实, 应本着更为务实的原则积极稳妥、循序渐进的方式来推进环境合作。

关键词: 碳排放配额; 博弈分析; 策略选择; 碳排放许可证政策; 碳排放配额许可交易政策; 许可交易碳排放权合作政策

中图分类号: X01; X22; F224.32 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2016)01-0012-12

0 引言

环境污染日益严重, 全球碳排放量逐渐增多。国际社会也积极探索减少温室气体(特别是二氧化碳)排放的方案。2005年正式生效的《京都议定书》首次以法律文件的形式规定了缔约方国家(主要为发达国家)在2008年—2012年的承诺期内应在1990年水平基础上减少温室气体排放量5.2%的减排义务。作为发展中国家, 中国承诺在2020年将完成减排40%—45%(在2005年排放量的基础上)。为实现各自的减排目标, 发达国家不断推出新的环境政策, 如碳税、碳排放权交易、碳关税等。相关国际组织还提出碳封存与碳捕获、

设立绿色气候基金等减排措施。尽管这些政策和措施彼此不同, 但均是为了降低碳排放, 改善环境, 提高福利, 即是以福利为政策导向的。从法理上看, 《京都议定书》允许《联合国气候变化框架公约》缔约方之间进行减排单位的转让或获得, 为碳交易的产生提供了法律依据。目前在推动碳排放权交易方面, 欧盟走在世界前列, 主要为配额型交易, 即“欧盟排放配额”(EUAs)交易。联合国《蒙特利尔破坏臭氧层物质管制议定书》和英国温室气体排放贸易制度也都采取配额许可交易的办法。可以预计, 全球碳减排合作从长远来看是必然趋势。但对于如何合作, 实现发达国家和发展中国家的“双赢”, 履行“共同但有区别”的责任需要

^① 收稿日期: 2013-04-23; 修订日期: 2014-02-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71273114).

作者简介: 杨仕辉(1965—), 男, 江西丰城人, 博士, 研究员, 教授, 博士生导师. Email: yangshh@126.com

深入研究. 由于南北国家拥有的比较优势不同, 贸易与环境的关系复杂, 现有减排方案不能使南北各国都接受, 以配额型交易为主的欧盟碳排放权交易运行良好, 为全球碳减排合作提供了借鉴, 尚缺乏合作的具体方案. 在当前主要是单边决定碳排放配额不完全竞争市场的背景下, 是否存在使南北能合理利用各自的贸易比较优势和环境比较优势、国家和全球福利又都增进、全球总排放减少且对各国贸易无碍的碳减排制度? 是否存在波特假说提出的“竞相提高环境标准”(race-to-the-top)的激励措施? 本文通过研究南北国家碳排放配额政策的策略选择, 并从环境、福利、贸易等不同角度进行分析和比较, 探寻既可降低全球碳排放量, 又不损害各国贸易、国家和全球福利的环境政策, 为解决南北国家环境冲突、实现全球环境合作提供理论依据.

1 国内外研究现状

贸易与环境问题由来已久. Barrett^[1]和Greaker^[2]认为贸易将给环境带来负效应, 导致“竞相降低环境标准”(race-to-the-bottom). 因此, 发展中国家往往采取“先发展、后治理”的经济增长模式, 执行的环境规制水平远远低于发达国家, 从而在环境规制上形成“南北差距”. 但著名的“波特假说”认为, 贸易并不一定引起环境的恶化, 如果政府能够完善环境政策, 并与市场相结合, 则可形成“竞相提高环境标准”(race-to-the-top)的局面, 并提高出口国的福利水平^[3].

1.1 国外对碳排放配额政策的研究综述

1) 基于福利效应角度

Keohane^[4]认为碳排放权交易政策能够促进国际合作, 降低全球碳减排成本. Sartzetakis^[5]基于环境比较优势差异(企业之间具有不同的减排成本)假设, 发现碳排放配额许可交易政策能使国家福利水平提高, 但无法实现福利最大化. Hung 和 Sartzetakis^[6]基于贸易比较优势差异(企业之间生产成本差异)假设, 发现许可交易政策并不必然增进福利. Sartzetakis^[7]发现许可交易政策会导致社会福利下降, Meunier^[8]则认为有可能增进福利. Antoniou 等^[9]同时考虑了贸易比较优

势和环境比较优势的差异, 分析两个对称国家(均为北方国家)政策选择的福利效应, 发现碳排放配额合作决定的福利最大, 北方国家最优选择是合作政策. Chao 和 Peck^[10]发现许可交易政策能够导致资源的有效配置, 实现 Pareto 最优, Shiell^[11]则认为社会最优的碳排放配额政策也可能不会是 Pareto 有效的.

2) 基于环境效应角度

Eshel^[12]假设封闭经济体中产品市场和许可交易市场上存在一个主导企业和一些外围企业, 主导企业可以利用其环境比较优势得到较多的碳排放配额, 导致外围企业的碳排放量(产量)增加和主导企业的碳排放量减少. Rehdanz 和 Tol^[13]发现两国减排目标和减排成本之间的差异越大, 两国之间越有可能交易碳排放配额; 许可交易市场之间的合作对两国都是有利的. Lee^[14]发现与竞争性的碳交易市场相比, 若边际环境损害较高的国家成为碳交易市场上的价格制定者, 即使各国不合作分配碳排放配额, 全球碳排放量也会较低. 考虑到国家利益集团在全球环境政策制定中的游说, Habla 和 Winkler^[15]发现各国参与全球碳交易市场并不一定会降低各国和全球碳排放量. Carbone 等^[16]假设在开放经济条件下, 即使各国在减排政策上不合作, 许可交易政策也可实现有效的减排.

3) 基于贸易效应角度

Jouvet 等^[17]研究了开放经济下碳排放配额免费分配和拍卖分配对企业利润的影响. 忽略贸易比较优势差异, 如果政府对碳排放量的控制不是很严格, 而且免费分配给企业的碳排放配额足够多, 交易碳排放配额就可以提高利润. Hintermann^[18]认为只有主导企业拥有足够多的碳排放配额, 主导企业才会因碳排放配额价格的提高而获利.

1.2 国内对碳排放配额政策的研究综述

国内少有学者对碳排放配额政策运用博弈方法进行理论研究. 杨仕辉和魏守道^[19-20]构建了博弈模型对碳税和碳关税进行了分析, 个别研究模拟了实施碳排放配额政策的效果, 如石敏俊等^[21]运用动态 CGE 模型发现, 中国仅实施碳排放交易政策下企业承受的减排压力较大, 遭受的冲击也较重, 而且承担的减排成本较高; 若同时制定适度

的碳税税率,既可实现既定的减排目标,也能降低企业减排压力和减排成本。

综上所述,多数学者着重运用博弈模型研究碳排放配额政策的福利效应,由于未同时考虑激励相容条件(incentive compatibility constraint)和参与约束条件(individual rationality constraint),得出的结论不完全相同,甚至相反。国外研究绝大多数讨论的是环境比较优势差异,不考虑贸易比较优势差异,或基于国家对称假设(都为北方国家),存在不同的缺陷。然而,事实上南北国家在贸易和环境方面分别拥有比较优势。发展中国家具有明显的贸易比较优势(低生产成本),发达国家具有明显的环境比较优势(先进的碳减排技术)。如果考虑碳排放配额动态变化的影响——即如果存在碳排放权交易市场,则初始碳排放配额并不构成紧约束条件,从而对相应国家的企业的生产决策产生重大的影响。

本文借鉴前人的研究成果,同时考虑南北国家间事实上存在的贸易比较优势和环境比较优势差距,建立两阶段的碳排放配额政策与企业碳减排选择的博弈模型:南北两国选择碳排放许可证政策、碳排放配额许可交易政策或许可交易碳排放权合作政策;企业决定减排水平和产量水平。从福利效应、环境效应、贸易效应、福利-环境效应和环境-贸易效应等多角度选择碳排放配额政策,得出了南北国家出于不同考虑选择碳排放配额政策的条件。

本文的贡献主要体现在两个方面。一是同时考虑南北国家间贸易比较优势和环境比较优势差异——南方国家企业具有贸易比较优势,北方国家企业具有环境比较优势,而不是单一考虑一个比较优势,使假设更具一般性,且不仅仅局限于对称性国家间(发达国家间或发展中国家间)碳排放配额许可交易政策和许可交易碳排放权合作政策的政策分析,这是对前人分析使用单一工具的一个突破;二是在同一分析框架内从福利效应、福利-环境效应和环境-贸易效应等多个角度同时分析比较南北国家的碳排放许可证政策、碳排放配额许可交易政策和许可交易碳排放权合作政策选择及其条件。

2 模型构建与求解

2.1 基本假设

碳排放配额政策有碳排放许可证政策(单边决定碳排放配额且不可交易,下文简称许可证政策)和碳排放许可交易政策,碳排放许可交易政策又分为碳排放配额许可交易政策(单边决定碳排放配额且允许交易)和许可交易碳排放权合作政策(共同决定碳排放配额水平且允许市场交易碳排放权)。本文目的是从福利、贸易和环境改善等多个角度分析和比较南北国家的三种碳排放配额政策选择,比较的基准设定为许可证政策(这也是当前多数国家采取的政策),与碳排放许可交易政策(包括许可交易政策和合作政策)进行比较。根据前人研究和实际情况,本文假设南方国家具有贸易比较优势(生产成本上具有比较优势,但在碳减排效率方面相对处于比较劣势);相反,北方国家具有环境比较优势(在碳减排效率具有比较优势,在生产成本上则处于劣势)。

2.2 博弈规则

政府和企业之间的博弈规则设计如下。假设 T_0 时刻,南北国家单边实施许可证政策,其企业独立地决定产量。第一阶段,政府在观察到企业的产量水平(或碳排放量)后,为了减少碳排放量,两国政府对环境政策进行干预,可以选择许可交易政策或合作政策;第二阶段,由于存在碳排放配额许可交易市场,企业可以根据自己的需要从市场中买卖碳排放权,假定其它企业的产量和减排水平保持不变,决定企业的产量和碳减排水平。

2.3 模型基本结构和变量定义

假设世界上有三个国家:国家CS(代表某南方国家)、国家CN(代表某北方国家)和国家CO(代表其余国家)。假设南北国家各有一个生产企业,分别用企业S和企业N表示,生产的产品是同质的,产品全部出口到国家CO,并在该国市场上进行产量竞争。假设企业 $i(i = S, N)$ 的边际生产成本为 c_i ,产品需求函数设为 $p = 1 - q_S - q_N$ 。假设企业 i 生产单位产品会产生单位碳排放。为减少碳排放量,企业可主动实施减排。设企业 i 的碳减排成本函数为 $CA_i = a_i^2 / (2\gamma_i)$,其中 a_i ,

$\gamma_i > 0$. a_i 是企业 i 的碳减排量, γ_i 反映企业 i 的碳减排效率, 该值越大说明该企业的碳减排效率越高. 企业 i 生产 q_i 单位的产品产生的净碳排放量为 $e_i = q_i - a_i$, 对环境造成的损害函数设为 $ED_i = e_i^2/2$. 为了限制全球的碳排放总量, 南北两国政府可选政策有许可证政策、许可交易政策和合作政策. 本文以政府单边实施许可证政策下的碳排放总量 (Q^0) 为基础, 企业 i ($= S, N$) 的碳排放配额为 $\bar{e}_i = \varphi_i Q^0$, $\varphi_i > 0$ 代表企业 i 的碳排放配额占全部配额的比. 此外, 假设还存在碳排放配额交易市场, 碳排放许可交易政策下, 各国企业可以自由买卖分配所得的碳排放配额. 如果企业 i 产生的碳排放量超过其碳排放配额, 则企业 i 需从碳交易市场购买碳排放配额, 净需求函数为

$$\begin{cases} q_S^0 = (1+c)/3, q_N^0 = (1-2c)/3, Q^0 = q_S^0 + q_N^0 = (2-c)/3 \\ \varphi_S^0 = q_S^0/Q^0 = (1+c)/(2-c), \varphi_N^0 = q_N^0/Q^0 = (1-2c)/(2-c) \\ \pi_S^0 = (1+c)^2/9, \pi_N^0 = (1-2c)^2/9, W_S^0 = (1+c)^2/18, W_N^0 = (1-2c)^2/18 \end{cases} \quad (3)$$

为保证南北国家企业均参与竞争, 需有 $q_i^0 > 0$, 即 $c < 0.5$. 否则 $q_N^0 < 0$, 即北方国家企业不生产产品、不排放二氧化碳, 无需承担减排责任, 从而丧失了南北国家碳排放配额政策合作基础.

2.4 模型求解

使用逆向求解法可得该模型的均衡解.

$$\begin{cases} A^* = (2 - c_i - c_k) (1 - \varphi_i - \varphi_k) / (2 + 3\gamma_i + 3\gamma_k) \quad i, k = S, N, i \neq k \\ q_i^* = [(1 - 2c_i + c_k) (2 + 3\gamma_i + 3\gamma_k) - (2 - c_i - c_k) (1 - \varphi_i - \varphi_k)] / [3(2 + 3\gamma_i + 3\gamma_k)] \\ a_i^* = (2 - c_i - c_k) (1 - \varphi_i - \varphi_k) \gamma_i / (2 + 3\gamma_i + 3\gamma_k) \end{cases} \quad (5)$$

由式 (5) 可得 $da_S^*/d\phi_S = da_S^*/d\phi_N = -\gamma(2-c)/(5+3\gamma) < 0$, $da_N^*/d\phi_N = da_N^*/d\phi_S = -(2-c)/(5+3\gamma) < 0$. 由于 $\gamma < 1$, 则 $|da_S^*/d\phi_S| < |da_N^*/d\phi_N|$ 成立. 从而有如下命题.

命题 1 $da_i^*/d\phi_i = da_i^*/d\phi_k < 0$ ($i, k = S, N, i \neq k$), $|da_S^*/d\phi_S| < |da_N^*/d\phi_N|$.

2.4.2 阶段 1——选择许可交易政策或合作政策

1) 南北国家均选择许可交易政策

当南北国家均选择许可交易政策时, i ($i = S, N$) 国政府以本国福利最大化为目的决定分配给企业 i 的碳排放配额比例 φ_i . 将式 (4) 代入式

$ND_i = e_i - \bar{e}_i$, 市场出清的价格为 A .

根据假设, 南方国家具有贸易比较优势, 即 $c_S < c_N$, 为简化计算, 假设 $c_S = 0, c_N = c > 0$. 南方国家在碳减排效率方面处于比较劣势, 即 $\gamma_S < \gamma_N$, 同时为简化计算, 假设 $\gamma_S = \gamma, \gamma_N = 1$, 且 $\gamma < 1$.

企业 i ($= S, N$) 的利润函数为

$$\pi_i = pq_i - c_i q_i - a_i^2 / (2\gamma_i) - A(q_i - a_i - \bar{e}_i) \quad (1)$$

i 国的福利函数为

$$W_i = pq_i - c_i q_i - a_i^2 / (2\gamma_i) - A(q_i - a_i - \bar{e}_i) - e_i^2 / 2 \quad (2)$$

在 T_0 时刻, 南北国家实施许可证政策, 企业既不会主动实施减排, 也不可能从碳交易市场上购买额外的碳排放配额, 即 $a_i = 0, ND_i = q_i - a_i - \bar{e}_i = 0$. 利用一阶条件求解得

2.4.1 阶段 2——企业最优产量和减排水平选择

政府选择碳排放许可交易政策时, 有 $a_i \neq 0$ 和

$ND_i = e_i - \bar{e}_i \neq 0$ 成立, 由式 (1) 的一阶条件解得

$$\begin{cases} q_i = (1 - A - 2c_i + c_k) / 3, a_i = A\gamma_i \\ i, k = S, N, i \neq k \end{cases} \quad (4)$$

利用碳排放配额交易市场出清的条件 $ND_S +$

$ND_N = 0$, 从而有

(2) 化简可得

$$W_i = q_i^* + A^* (a_i^* + \varphi_i Q^0) - a_i^{*2} / (2\gamma_i) - (q_i^* - a_i^*)^2 / 2 \quad (6)$$

由式 (6) 的一阶条件可求得南北国家均选择许可交易政策下的最优解为

$$\begin{cases} \varphi_S^{sc} = [6\gamma^2 - 13\gamma + 49 - c(39\gamma^2 + 43\gamma + 21)] / (\Delta X) \\ \varphi_N^{sc} = [3\gamma^2 + 25\gamma + 14 + c(21\gamma^2 + 28\gamma + 12)] / (\Delta X) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} q_S^{sc} = [3\gamma^2 + 7\gamma + 14 + c(3\gamma^2 + 7\gamma + 19)] / \Delta \\ q_N^{sc} = [3\gamma^2 + 7\gamma + 14 - c(6\gamma^2 + 17\gamma + 30)] / \Delta \\ Q^{sc} = [6\gamma^2 + 14\gamma + 28 - c(3\gamma^2 + 10\gamma + 11)] / \Delta \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} a_S^{sc} = \gamma(7 - 8c + 3\gamma + 3c\gamma) / \Delta & a_N^{sc} = (7 - 8c + 3\gamma + 3c\gamma) / \Delta \\ \pi_S^{sc} = (\omega_1 + 2c\omega_2 + c^2\omega_3) / (6\Delta^2) & \pi_N^{sc} = (\varpi_1 - 2c\varpi_2 + c^2\varpi_3) / (6\Delta^2) \\ W_S^{sc} = (v_1 + 2cv_2 + c^2v_3) / (6\Delta^2) & W_N^{sc} = (v_1 - 2cv_2 + c^2v_3) / (6\Delta^2) \end{cases} \quad (9)$$

其中 $\Delta \equiv 9\gamma^2 + 24\gamma + 49$, $X \equiv 2 - c$, $\omega_1 = 1862 + 1582\gamma + 1056\gamma^2 + 195\gamma^3 - 72\gamma^4 - 27\gamma^5$, $\omega_2 = 1057 + 937\gamma + 381\gamma^2 + 375\gamma^3 + 63\gamma^4 - 27\gamma^5$, $\omega_3 = 2502 + 2542\gamma + 1056\gamma^2 - 120\gamma^3 + 198\gamma^4 - 27\gamma^5$; $\varpi_1 = 1519 + 1736\gamma + 1017\gamma^2 + 270\gamma^3 + 54\gamma^4$, $\varpi_2 = 2716 + 2623\gamma + 1449\gamma^2 + 486\gamma^3 + 108\gamma^4$, $\varpi_3 = 5400 + 5600\gamma + 3753\gamma^2 + 1350\gamma^3 + 216\gamma^4$; $v_1 = 1274 + 1435\gamma + 930\gamma^2 + 315\gamma^3 + 54\gamma^4$; $v_2 = 259 + 475\gamma + 390\gamma^2 + 180\gamma^3 + 54\gamma^4$; $v_3 = 1419 + 640\gamma + 525\gamma^2 + 45\gamma^3 + 54\gamma^4$; $\nu_1 = 1372 + 1568\gamma + 843\gamma^2 + 198\gamma^3 + 27\gamma^4$; $\nu_2 = 2254 + 1939\gamma + 885\gamma^2 + 234\gamma^3 + 54\gamma^4$; $\nu_3 = 3948 + 2960\gamma + 1761\gamma^2 + 630\gamma^3 + 108\gamma^4$.

2) 南北国家均选择合作政策

此时,南北两国政府共同决定分配给企业 i 的碳排放配额比例, $e_i = \varphi Q^0$, $\varphi > 0$ 代表两国政府共同决定分配给企业 i 的碳排放配额占全部配额的比例. 企业的产量决策和减排决策仍保持不变,但两国政府选择最优碳排放配额分配比例的目标是两国福利和最大化. 福利函数为

$$W = (q_S^{*2} + q_N^{*2}) + A(q_S^* + q_N^*) - a_S^{*2} / (2\gamma_S) - a_N^{*2} / (2\gamma_N) - [(q_S^* - a_S^*)^2 + (q_N^* - a_N^*)^2] / 2 \quad (10)$$

同上推导,可解得均衡解为

$$\varphi^c = 3[3\gamma^2 - 2\gamma + 11 - 2c(3\gamma^2 + \gamma - 1)] / (2X\Lambda) \quad (11)$$

$$\begin{cases} q_S^c = [3\gamma^2 + 4\gamma + 9 + c(3\gamma^2 + 4\gamma + 14)] / \Lambda \\ q_N^c = [3\gamma^2 + 4\gamma + 9 - c(6\gamma^2 + 11\gamma + 20)] / \Lambda \\ Q^c = [6\gamma^2 + 8\gamma + 18 - c(3\gamma^2 + 7\gamma + 6)] / \Lambda \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} a_S^c = \gamma(7 - 8c + 3\gamma + 3c\gamma) / \Lambda \\ a_N^c = (7 - 8c + 3\gamma + 3c\gamma) / \Lambda \\ \pi_S^c = (\theta_1 + c\theta_2 + c^2\theta_3) / (2\Lambda^2) \\ \pi_N^c = (\vartheta_1 - c\vartheta_2 + c^2\vartheta_3) / (2\Lambda^2) \\ W_S^c = (\xi_1 + c\xi_2 + c^2\xi_3) / (2\Lambda^2) \\ W_N^c = (\xi_1 - c\xi_2 + c^2\xi_3) / (2\Lambda^2) \end{cases} \quad (13)$$

其中 $\Lambda \equiv 34 + 15\gamma + 9\gamma^2$, $\theta_1 = 239 + 212\gamma + 197\gamma^2 + 66\gamma^3 + 18\gamma^4$, $\theta_2 = 430 + 297\gamma + 256\gamma^2 + 105\gamma^3 + 36\gamma^4$, $\theta_3 = 376 + 310\gamma + 194\gamma^2 + 39\gamma^3 + 18\gamma^4$; $\vartheta_1 = 288 + 205\gamma + 164\gamma^2 + 57\gamma^3 + 18\gamma^4$, $\vartheta_2 = 906 + 681\gamma + 692\gamma^2 + 237\gamma^3 + 72\gamma^4$, $\vartheta_3 = 848 + 854\gamma + 773\gamma^2 + 246\gamma^3 + 72\gamma^4$; $\xi_1 = 158 + 266\gamma + 188\gamma^2 + 66\gamma^3 + 18\gamma^4$, $\xi_2 = 178 + 165\gamma + 328\gamma^2 + 105\gamma^3 + 36\gamma^4$, $\xi_3 = 180 - 26\gamma + 50\gamma^2 + 39\gamma^3 + 18\gamma^4$; $\xi_1 = 284 + 201\gamma + 151\gamma^2 + 51\gamma^3 + 9\gamma^4$, $\xi_2 = 858 + 601\gamma + 568\gamma^2 + 141\gamma^3 + 36\gamma^4$, $\xi_3 = 704 + 518\gamma + 433\gamma^2 + 78\gamma^3 + 36\gamma^4$.

3 基于福利改善的南北碳排放配额政策选择

前面求得的均衡解是局部均衡解,不一定是全局稳定的,要得到全局稳定均衡解还必须满足两个条件:即激励相容条件和参与约束条件. 参与约束条件指的是博弈方参与博弈的收益比不参与博弈的收益要高(即净收益为正),即碳排放许可交易政策的福利比许可证政策下的福利要好,则博弈方均不愿意选择许可证政策;同样的,如果南北国家在合作政策下的福利比在许可交易政策下的福利要好,则博弈方才有可能选择合作政策. 激励相容条件指的是许可交易政策下的南北国家福利均要比许可证政策下的国家福利有改善,或者合作政策下的南北国家福利均要比许可交易政策下的各自国家福利有改善,南北国家才有激励实施许可交易政策或合作政策.

3.1 基于福利改善的碳排放许可交易政策与许可证政策选择

由式(3)、式(9)和式(13)可推导得

$$\begin{cases} W_S^{sc} - W_S^0 = (9\gamma^2 + 15\gamma + 29) \Omega^2 / (18\Delta^2) & , W_N^{sc} - W_N^0 = (35 + 18\gamma) \Omega^2 / (18\Delta^2) \\ W_S^c - W_S^0 = \Omega [27\gamma^3 + 45\gamma^2 + 180\gamma + 38 + c(27\gamma^3 + 99\gamma^2 + 135\gamma - 58)] / (18\Delta^2) \\ W_N^c - W_N^0 = \Omega [63\gamma^2 + 27\gamma + 200 - c(126\gamma^2 + 153\gamma + 214)] / (18\Delta^2) \end{cases} \quad (14)$$

其中 $\Omega \equiv 7 - 8c + 3\gamma + 3c\gamma > 0$. 由于 $W_S^{sc} - W_S^0 > 0, W_N^{sc} - W_N^0 > 0, W_S^c - W_S^0 > 0, W_N^c - W_N^0 > 0$ 恒成立, 因此有 $(W_S^c + W_N^c) - (W_S^0 + W_N^0) > 0$ 和 $(W_S^c + W_N^c) - (W_S^{sc} + W_N^{sc}) > 0$ 恒成立, 即同时满足激励相容条件和参与约束条件. 故有:

命题 2 对于任意的 γ 和 $c, W_S^{sc} > W_S^0, W_N^{sc} > W_N^0, W_S^c > W_S^0, W_N^c > W_N^0$.

命题 2 意味着: 如果南北两国均选择许可交易政策或合作政策, 则南北国家福利都得到改善, 即满足稳定均衡解的 2 个条件(激励相容条件和参与约束条件). 也就是说, 碳排放许可交易政策要严格优于许可证政策, 允许碳排放配额交易可以提高国家福利.

3.2 基于福利改善的合作政策与许可交易政策选择

由式(9)和式(13)得

$$\begin{cases} W_S^c + W_N^c - W_S^{sc} - W_N^{sc} = (5 + 3\gamma)^2 \Omega^2 / (2\Delta^2 \Lambda) \\ W_S^c - W_S^{sc} = \Omega \Theta_1 / (6\Delta^2 \Lambda^2) \\ W_N^c - W_N^{sc} = \Omega \Theta_2 / (6\Delta^2 \Lambda^2) \end{cases} \quad (15)$$

其中 $\Theta_1 \equiv -\phi_1 + c\phi_2, \phi_1 = 47\,810 - 30\,848\gamma - 32\,070\gamma^2 - 30\,879\gamma^3 - 7\,911\gamma^4 - 2\,025\gamma^5 + 243\gamma^6, \phi_2 = 42\,978 + 154\,169\gamma + 243\,237\gamma^2 + 185\,346\gamma^3 + 94\,743\gamma^4 + 26\,811\gamma^5 + 4\,860\gamma^6; \Theta_2 \equiv \phi_3 - c\phi_4,$

$\phi_3 = 65\,660 + 6\,097\gamma + 1\,086\gamma^2 - 13\,545\gamma^3 - 2\,565\gamma^4 - 1\,296\gamma^5 + 243\gamma^6, \phi_4 = 63\,378 + 179\,999\gamma + 254\,226\gamma^2 + 186\,237\gamma^3 + 93\,042\gamma^4 + 26\,082\gamma^5 + 4\,860\gamma^6.$

由式(15)知: $(W_S^c + W_N^c) - (W_S^{sc} + W_N^{sc}) > 0$, 即满足参与约束条件. 也就是说如果南北两国均选择合作政策, 则全球福利更高, 南北国家均有选择合作政策的可能. 下面来看激励相容条件.

由式(15)知: $sign(W_S^c - W_S^{sc}) = sign(\Theta_1), sign(W_N^c - W_N^{sc}) = sign(\Theta_2)$. 由 $\Theta_1 > 0$ 可解得 $c > \phi_1 / \phi_2$. 同理, 令 $\Theta_2 > 0$, 可解得 $c < \phi_3 / \phi_4$. 参见图 1 和图 2, 图 1 中阴影部分为 $W_S^c > W_S^{sc}$, 图 2 中阴影部分为 $W_N^c > W_N^{sc}$, 因此, 由图 1 和图 2 中阴影重合部分即为 $W_S^c > W_S^{sc}$ 和 $W_N^c > W_N^{sc}$ 同时成立的条件, 详见图 3. 也就是说, 只有当 $\max\{\phi_1 / \phi_2, 0\} \leq c \leq \phi_3 / \phi_4 < 0.5$ 时, 合作政策下南北国家福利均比许可交易政策下的国家福利要大, 即南北国家的福利均得到改善, 此时, 才满足激励相容条件. 否则, 当 $\Theta_1 > 0$ 且 $\Theta_2 < 0$ 或者 $\Theta_1 < 0$ 且 $\Theta_2 > 0$ 时, 即便在合作政策下全球福利得到改善, 由于总有一方的国家福利没有得到改善, 也必然导致南北国家合作政策不可能长久, 即此时的均衡解不是稳定均衡解.

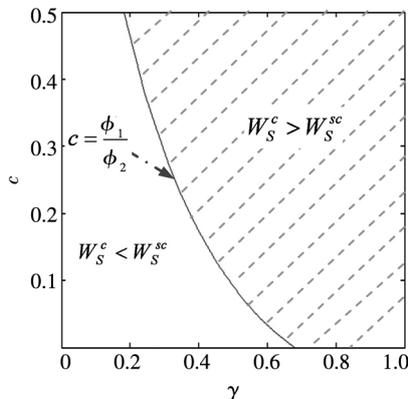


图 1 南方国家许可交易政策与合作政策的福利比较
Fig.1 The welfare comparison of South country between tradable and cooperative carbon permits policy

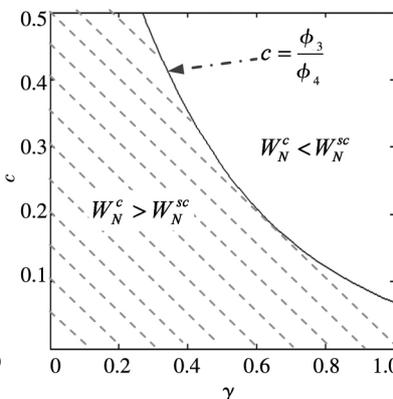


图 2 北方国家许可交易政策与合作政策的福利比较
Fig.2 The welfare comparison of North country between tradable and cooperative carbon permits policy

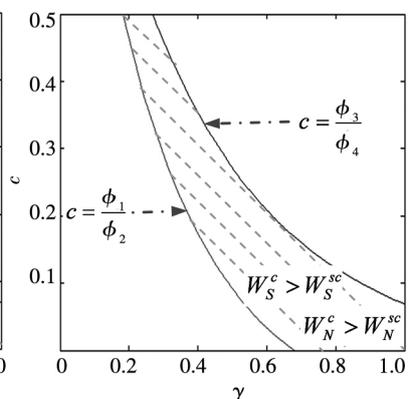


图 3 许可交易政策与合作政策的稳定性均衡
Fig.3 The stable equilibrium under tradable and cooperative carbon permits policy

命题3 如果 $\max\{\phi_1/\phi_2, \rho\} \leq c \leq \phi_3/\phi_4 < 0.5$, 均衡解具有全局稳定性(满足激励相容条件和参与约束条件), 南北国家会共同选择合作政策.

4 基于环境改善的南北碳排放配额政策选择

4.1 基于环境改善的碳排放许可交易政策与许可证政策选择

记许可证政策时南北国家产生的净碳排放量分别为 $e_S^0 (= q_S^0)$ 和 $e_N^0 (= q_N^0)$, 许可交易政策时南北国家产生的净碳排放量分别为 $e_S^{sc} = q_S^{sc} - a_S^{sc}$ 和 $e_N^{sc} = q_N^{sc} - a_N^{sc}$, 合作政策时南北国家产生的净碳排放量分别为 $e_S^c = q_S^c - a_S^c$ 和 $e_N^c = q_N^c - a_N^c$. 由式(3)、式(8)、式(9)、式(12)和式(13)可得

$$\begin{cases} e_S^{sc} + e_N^{sc} - Q^0 = -(5+3\gamma)\Omega/(3\Delta) < 0 \\ e_N^c + e_N^0 - Q^0 = -(5+3\gamma)\Omega/(3\Delta) < 0 \\ e_S^{sc} - e_S^0 = -(1+3\gamma)\Omega/(3\Delta) < 0 \\ e_N^{sc} - e_N^0 = -4\Omega/(3\Delta) < 0 \\ e_S^c - e_S^0 = -(1+3\gamma)\Omega/(3\Delta) < 0 \\ e_N^c - e_N^0 = -4\Omega/(3\Delta) < 0 \end{cases} \quad (16)$$

从式(16)知: $e_S^{sc} + e_N^{sc} < Q^0$ 和 $e_N^c + e_N^0 < Q^0$ 恒成立. 也就是说如果南北两国选择碳排放许可交易政策, 则全球环境效应(碳减排量)更大. 因此, 从全球环境效应来看, 碳排放许可交易政策严格优于许可证政策. 由式(16)还有 $e_S^{sc} < e_S^0$, $e_N^{sc} < e_N^0$, $e_S^c < e_S^0$, $e_N^c < e_N^0$ 恒成立. 即许可交易政策和合作政策下, 南北双方的环境效应均比许可证政策下的

$$\begin{cases} \pi_S^{sc} - \pi_S^0 = \Omega [112 - 42\gamma + 54\gamma^2 - 63\gamma^3 - 27\gamma^4 - c(27\gamma^4 - 72\gamma^3 + 216\gamma^2 + 492\gamma + 338)] / (18\Delta^2) \\ \pi_N^{sc} - \pi_N^0 = \Omega [-35 + 87\gamma - 18\gamma^2 + c(198\gamma^2 + 393\gamma + 376)] / (18\Delta^2) \\ \pi_S^c - \pi_S^0 = -\Omega [23 + 9\gamma - 18\gamma^2 + c(63\gamma^2 + 144\gamma + 134)] / (18\Delta^2) < 0 \\ \pi_N^c - \pi_N^0 = \Omega [40 - 45\gamma - 9\gamma^2 + c(18\gamma^2 + 135\gamma + 202)] / (18\Delta^2) \end{cases} \quad (18)$$

记 $\rho(\gamma) = (112 - 42\gamma + 54\gamma^2 - 63\gamma^3 - 27\gamma^4) / (27\gamma^4 - 72\gamma^3 + 216\gamma^2 + 492\gamma + 338)$, $\mu(\gamma) = (35 - 87\gamma + 18\gamma^2) / (198\gamma^2 + 393\gamma + 376)$, $\psi(\gamma) = (9\gamma^2 + 45\gamma - 40) / (18\gamma^2 + 135\gamma + 202)$. 由式(18)知: $\pi_S^c < \pi_S^0$ 恒成立, 当 $0 < c \leq \rho(\gamma)$ 时, $\pi_S^{sc} \geq \pi_S^0$ 成立; 当 $0 < \mu(\gamma) \leq c < 0.5$ 时, $\pi_N^{sc} \geq \pi_N^0$ 成立;

环境效应更明显(碳减排更多).

命题4 对任意 γ 和 c , $e_S^{sc} + e_N^{sc} < Q^0$, $e_N^c + e_N^0 < Q^0$, $e_S^{sc} < e_S^0$, $e_N^{sc} < e_N^0$, $e_S^c < e_S^0$, $e_N^c < e_N^0$ 恒成立.

4.2 基于环境改善的许可交易政策与合作政策选择

由式(16)可得

$$\begin{cases} e_S^c + e_N^c - e_S^{sc} - e_N^{sc} = -(5+3\gamma)^2\Omega/(\Delta\Lambda) < 0 \\ e_S^c - e_S^{sc} = -(1+3\gamma)(5+3\gamma)\Omega/(\Delta\Lambda) < 0 \\ e_N^c - e_N^{sc} = -4(5+3\gamma)\Omega/(\Delta\Lambda) < 0 \end{cases} \quad (17)$$

由式(17)知 $e_S^c + e_N^c < e_S^{sc} + e_N^{sc}$, $e_S^c < e_S^{sc}$ 和 $e_N^c < e_N^{sc}$ 恒成立.

命题5 对于任意的 γ 和 c , $e_S^c + e_N^c < e_S^{sc} + e_N^{sc}$, $e_S^c < e_S^{sc}$ 和 $e_N^c < e_N^{sc}$ 恒成立.

命题4和命题5的含义是: 从减少南北国家和全球的碳排放量来看, 碳排放许可交易政策要严格优于许可证政策, 合作政策又严格优于许可交易政策. 而且, 碳排放配额许可交易市场确实有助于实现波特假说、避免环境政策的“竞相降低标准”.

5 基于贸易改善的南北碳排放配额政策选择

这又可以从企业利润、产量和市场份额等三个角度来分析.

5.1 基于企业利润提高的碳排放配额政策比较

1) 碳排放许可交易政策与许可证政策比较

由式(3)、式(9)和式(13)可得

当 $c \geq \psi(\gamma) > 0$ 时, 有 $\pi_N^c \geq \pi_N^0$. 由图4-图5可以看出, 北方国家企业利润提高($\pi_N^{sc} \geq \pi_N^0$ 或 $\pi_N^c \geq \pi_N^0$) 的概率很大(面积占比很大), 而南方国家企业利润提高($\pi_S^{sc} \geq \pi_S^0$ 或 $\pi_S^c \geq \pi_S^0$) 的概率相对就要小很多.

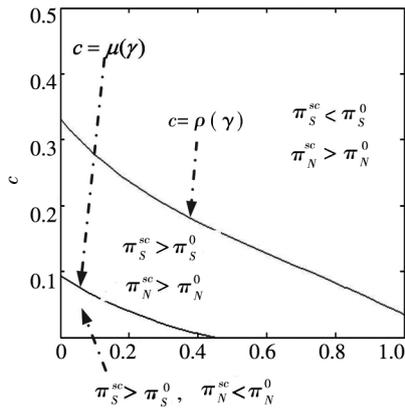


图 4 许可证政策与许可交易政策的利润比较
Fig. 4 The firm profit comparison of non-tradable and tradable carbon permits policy

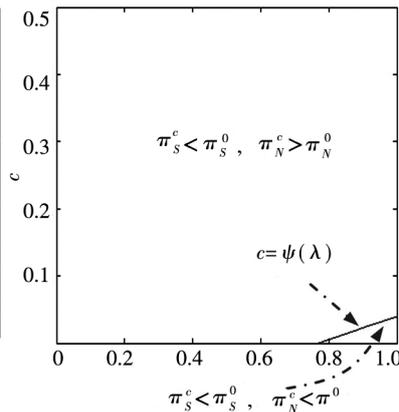


图 5 许可证政策与合作政策的利润比较
Fig. 5 The firm profit comparison of non-tradable and cooperative carbon permits policy

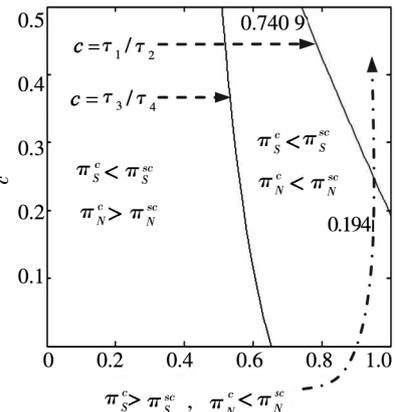


图 6 许可交易政策与合作政策的利润比较
Fig. 6 The firm profit comparison of tradable and cooperative carbon permits policy

命题 6 与许可证政策相比,在南北许可交易政策下,当 $0 < c \leq \rho(\gamma)$, 有 $\pi_S^c \geq \pi_S^0$, 当 $0 < \mu(\gamma) \leq c < 0.5$ 时, $\pi_N^c \geq \pi_N^0$ 成立; 而在南北合作政策时, $\pi_S^c < \pi_S^0$ 恒成立, 当 $0 < \psi(\gamma) \leq c$, 有 $\pi_N^c \geq \pi_N^0$.

2) 许可交易政策与合作政策比较
由式(18)得

$$\begin{cases} \pi_S^c - \pi_S^{sc} = \Omega[-\tau_1 + c\tau_2]/(6\Delta^2\Lambda^2) \\ \pi_N^c - \pi_N^{sc} = \Omega[-\tau_3 + c\tau_4]/(6\Delta^2\Lambda^2) \end{cases} \quad (19)$$

其中 $\tau_1 = 61\,565 + 47\,131\gamma + 41\,604\gamma^2 - 13\,980\gamma^3 - 24\,345\gamma^4 - 25\,380\gamma^5 - 12\,231\gamma^6 - 4\,131\gamma^7 - 729\gamma^8$, $\tau_2 = 22\,998 + 84\,200\gamma + 116\,373\gamma^2 + 74\,712\gamma^3 + 44\,622\gamma^4 + 8\,856\gamma^5 + 5\,184\gamma^6 + 486\gamma^7 + 729\gamma^8$, $\tau_3 = -45\,500 + 26\,279\gamma + 35\,922\gamma^2 + 38\,169\gamma^3 + 11\,637\gamma^4 + 3\,240\gamma^5 - 243\gamma^6$, $\tau_4 = 16\,782 - 12\,863\gamma - 96\,402\gamma^2 - 101\,997\gamma^3 - 67\,122\gamma^4 - 22\,194\gamma^5 - 4\,860\gamma^6$.

由式(19)知,当 $0 < \tau_1/\tau_2 < c < 0.5$ 时, $\pi_S^c > \pi_S^{sc}$ 成立(经求解,得到曲线 $\pi_S^c - \pi_S^{sc} = 0$ 与两直线 $c = 0.5$, $\gamma = 1$ 的相交对应的参数为 $c = 0.194\,059$, $\gamma = 0.740\,946$); $0 < c < \tau_3/\tau_4$ 时, $\pi_N^c > \pi_N^{sc}$ 成立. 也就是说,只有当 $0 < \tau_1/\tau_2 < c < \tau_3/\tau_4$ 时,两国企业利润都会有提高. 但由图 6 可知,当 $0 < c < 0.5$ 时,不存在这个区域,即不可能使两国企业利润都提高;且 $\pi_S^c > \pi_S^{sc}$ 要求南方国家碳减排效率较高($\gamma \geq 0.740\,9$)且北方国家有明显

的比较劣势 ($c \geq 0.194$) 即只有当南北国家生产成本差异较大且碳减排效率差异很小时,南方国家企业利润才能提高. 从区域面积来看,南方国家企业利润提高的面积占比很小,即与许可交易政策相比,合作政策下南方国家企业利润提高的概率较小.

命题 7 当 $0 < \tau_1/\tau_2 < c$ 时, $\pi_S^c > \pi_S^{sc}$ 和 $\pi_N^c < \pi_N^{sc}$ 成立; 当 $\max\{\tau_3/\tau_4, 0\} < c < \tau_1/\tau_2$ 时, $\pi_S^c < \pi_S^{sc}$ 和 $\pi_N^c < \pi_N^{sc}$ 成立; 当 $0 < c < \tau_3/\tau_4$ 时, $\pi_S^c < \pi_S^{sc}$ 和 $\pi_N^c > \pi_N^{sc}$ 成立.

5.2 基于企业产量提高的碳排放配额政策比较
由式(3)、式(8)和式(12)可得

$$\begin{cases} q_S^{sc} - q_S^0 = q_N^{sc} - q_N^0 = -\Omega/(3\Delta) < 0 \\ q_S^c - q_S^0 = q_N^c - q_N^0 = -\Omega/(3\Lambda) < 0 \end{cases} \quad (20)$$

由式(20)有

$$q_S^c - q_S^{sc} = q_N^c - q_N^{sc} = -(5+3\gamma)\Omega/(\Delta\Lambda) < 0 \quad (21)$$

综合式(20)和式(21),有

命题 8 对于任意的 c 和 γ , $q_S^c < q_S^{sc} < q_S^0$, $q_N^c < q_N^{sc} < q_N^0$.

5.3 基于企业市场份额提高的碳排放配额政策比较

1) 碳排放许可交易政策与许可证政策比较
南北两国均选择许可证政策时,各国企业的出口份额分别为

$$\begin{cases} S_S^0 = q_S^0/Q^0 = (1+c)/(2-c) \\ S_N^0 = q_N^0/Q^0 = (1-2c)/(2-c) \end{cases} \quad (22)$$

南北两国均选择许可交易政策时,各国企业的出口份额分别为

$$\begin{cases} S_S^{sc} = q_S^{sc}/Q^{sc} = [3\gamma^2 + 7\gamma + 14 + c(3\gamma^2 + 7\gamma + 19)] / [6\gamma^2 + 14\gamma + 28 - c(3\gamma^2 + 10\gamma + 11)] \\ S_N^{sc} = q_N^{sc}/Q^{sc} = [3\gamma^2 + 7\gamma + 14 - c(6\gamma^2 + 17\gamma + 30)] / [6\gamma^2 + 14\gamma + 28 - c(3\gamma^2 + 10\gamma + 11)] \end{cases} \quad (23)$$

南北两国均选择合作政策时,各国企业的出口份额分别为

$$\begin{cases} S_S^c = q_S^c/Q^c = [3\gamma^2 + 4\gamma + 9 + c(3\gamma^2 + 4\gamma + 14)] / [6\gamma^2 + 8\gamma + 18 - c(3\gamma^2 + 7\gamma + 6)] \\ S_N^c = q_N^c/Q^c = [3\gamma^2 + 4\gamma + 9 - c(6\gamma^2 + 11\gamma + 20)] / [6\gamma^2 + 8\gamma + 18 - c(3\gamma^2 + 7\gamma + 6)] \end{cases} \quad (24)$$

从而有

$$\begin{cases} S_S^{sc} - S_S^0 = c\Omega/(XM) > 0 \\ S_N^{sc} - S_N^0 = -c\Omega/(XM) < 0 \\ S_S^c - S_S^0 = c\Omega/(XN) > 0 \\ S_N^c - S_N^0 = -c\Omega/(XN) < 0 \end{cases} \quad (25)$$

其中 $M \equiv 2(3\gamma^2 + 7\gamma + 14) - c(3\gamma^2 + 10\gamma + 11)$, $N \equiv 2(3\gamma^2 + 4\gamma + 9) - c(3\gamma^2 + 7\gamma + 6)$.

2) 许可交易政策与合作政策比较

由式(24)和式(25)得

$$\begin{cases} S_S^c - S_S^{sc} = c(5 + 3\gamma)\Omega/(MN) > 0 \\ S_N^c - S_N^{sc} = -c(5 + 3\gamma)\Omega/(MN) < 0 \end{cases} \quad (26)$$

综合式(25)一式(26),有

命题9 对于任意的 c 和 γ , $S_S^c > S_S^{sc} > S_S^0$, $S_N^c < S_N^{sc} < S_N^0$.

综合命题6—命题9可发现,当南北各国注重本国企业利润时,若 $0 < \max\{\mu(\gamma), \rho\} \leq c < \rho(\gamma) < 0.5$ 时,许可交易政策要优于许可证政策;若 $0 < \psi(\gamma) \leq c$,许可证政策要优于许可交易政策;若 $\max\{\tau_3/\tau_4, \rho\} < c < \tau_1/\tau_2$,许可交易政策要优于合作政策;当各国注重本国企业生产时,则许可证政策最优,许可交易政策次之,合作政策最差;当各国注重市场份额时,则南北国家之间不存在稳定的策略。

6 基于福利—环境和环境—贸易均改善的政策选择

与前人不同的是,由于引入贸易比较优势差异和环境比较优势差异两个变量,本文还可以比较福利—环境和环境—贸易均改善的合作政策与许可交易政策选择。

由于南北合作政策的环境效应均比许可交易政策的环境效应要好,因此,福利—环境效应等同

于福利效应的边界条件(见图7),合作政策的福利—环境效应并不必然比许可交易政策的福利—环境效应好。或者说,合作政策的福利—环境效应相比于许可交易政策的福利—环境效应是不确定的。但合作政策的福利—环境效应相比于许可交易政策的福利—环境效应得到改善的概率还是相对较小的(参见图7中双线围成的阴影面积的比例)。即只有 $\max\{\phi_1/\phi_2, \rho\} \leq c \leq \phi_3/\phi_4 < 0.5$ 时,南北国家均选择合作政策才会既可提高各国和全球福利,也可降低各国和全球碳排放量,是南北国家考虑福利—环境效应下的最优策略选择。

再看环境—贸易改善的政策选择。将福利效应、环境效应和贸易效应(以利润代表)的图形放置在同一图中,如图8所示。图中阴影面积为南北国家福利均改善的稳定性均衡区域。虽然南北国家的环境效应在全区域中得到改善,北方国家的贸易效应在这一区域中左上方区域得到改善,但由于在这一区域中南方国家的贸易效应总是处于恶化状态,因此,与许可交易政策相比,合作政策中不存在南北国家环境贸易效应都得到改善的情况。即从环境—贸易效应来看,与许可交易政策相比,合作政策对南方国家而言总是不利的。因此,要求南北国家协调通过碳排放配额,实现既改善各国和全球福利,又降低各国和全球碳排放量,还不能妨碍各国经济发展的策略是很艰难的。除非北方国家对南方国家提供额外的贸易补偿,如提供减排基金援助或免费提供减排技术(降低单位产品的减排成本),否则,南北国家合作政策将难以实现。

综上所述,南北国家出于不同角度考虑时,最优策略选择会存在差异。从福利效应、环境效应以及福利—环境效应出发,合作政策均是最优策略选择;从贸易效应、环境—贸易效应出发,则合作政策很难成为最优策略选择。

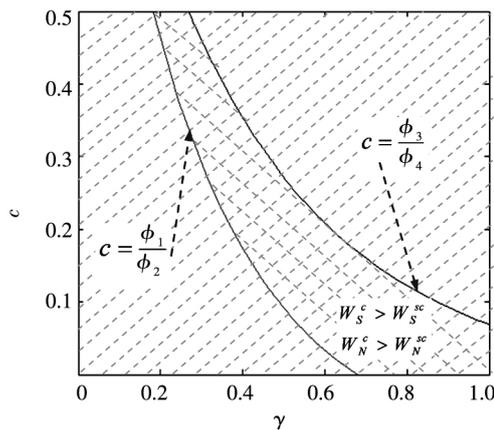


图 7 许可交易政策和合作政策的稳定性均衡——福利 - 环境效应

Fig. 7 The stable equilibrium of tradable and cooperative carbon permits policies: Based on welfare-environment effects

注：图 7 - 图 8 中 $e_S^c < e_S^{sc}$ 和 $e_N^c < e_N^{sc}$.

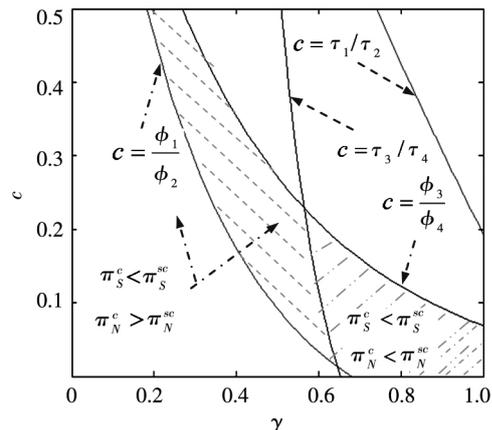


图 8 许可交易政策和合作政策的稳定性均衡——环境 - 贸易效应

Fig. 8 The stable equilibrium of tradable and cooperative carbon permits policies: Based on environment-trade effects

注：阴影区域表示 $W_S^c > W_S^{sc}$ 且 $W_N^c > W_N^{sc}$.

7 结束语

本文假设产品市场是不完全竞争的，基于南北国家的贸易比较优势和环境比较优势差异，构建了两阶段的政府碳排放配额政策与企业碳减排量选择的博弈模型，从福利效应、环境效应、贸易效应等多角度分析和比较了南北国家碳排放配额许可交易政策、许可交易碳排放权合作政策和碳排放许可证政策选择，应用逆向求解法得到了稳定均衡最优解及其条件。结果表明：从福利效应来看，碳排放许可交易政策要严格优于碳排放许可证政策（南北国家福利都得到改善）。因此，全球碳排放配额许可交易市场能够促进资源在国家间的有效配置，实现 Pareto 改进。但碳排放配额许可交易政策和许可交易碳排放权合作政策各有优劣，不存在严格占优政策。从环境效应来看，许可交易碳排放权合作政策最好，碳排放配额许可交易政策次之，碳排放许可证政策最差。从贸易效应来看，三种政策难分伯仲，但许可交易碳排放权合作政策更有利于北方国家，碳排放配额许可交易政策更有利于南方国家。从环境 - 贸易效应来看，与碳排放配额许可交易政策相比，许可交易碳排放权合作政策对南方国家而言总是不利的。

本文建立的模型虽然是针对南北国家碳排放配额的策略选择，但同样适用于对称型国家（发展中国家间或发达国家间）碳排放配额政策的选择。只需要令 $c = 0, \gamma = 1$ （对应图 1 - 8 中的右下角的一个点，严格讲起来，应该是 $c \rightarrow 0, \gamma \rightarrow 1$ 对应的一个小区域），此时两国边际生产成本均为零，即无贸易比较优势差异， γ 参数值决定了两国经济水平高低，就可求得对称型国家间碳排放配额的策略效应。可以发现，对对称型国家而言，从福利改善来看，碳排放许可交易政策比碳排放许可证政策要好（存在 Pareto 改进），且在许可交易碳排放权合作政策下的国家福利比碳排放配额许可交易政策下的要好，环境效应也得到改善，但贸易效应不能得到改进。很显然，对称型国家间比南北国家间更容易达成许可交易碳排放权合作政策。由于南北国家的环境比较优势差异不仅体现在减排成本上，还体现在产品的碳排放量上，本文仅假设南北两国的减排成本不同，事实上南北碳减排技术也不同，是本文需要进一步完善的地方。

本文的政策含义是：从短期来看，南方国家仍会优先选择碳排放配额许可交易政策。北方国家一方面应优先在发达国家之间实施许可交易碳排放权合作政策，为世界各国作出榜样；另一方面，应继续积极推进全球环境协调计划和方案，并不

断吸引经济实力接近的国家加入全球许可交易碳排放权合作政策的行列中来. 从中期来看, 随着发展中国家的贸易与经济发展水平的提高和生活的改善, 环境意识的不断提高, 在对称型国家许可交易碳排放权合作政策不断成功的基础上, 会有越来越多的发展中国家和负责任的发展中大国参与全球环境政策合作的计划. 从长远来看, 由于全球污染的日益严重和气候变暖的事实, 南北国家应

该共同应对, 采取积极的许可交易碳排放权合作政策, 促进全球福利和环境质量的改善. 发达国家试图短期内实现全球环境协调还是不够现实, 应本着更为务实的原则积极稳妥、循序渐进的方式来推进环境合作. 从《京都议定书》及哥本哈根、德班气候大会的进展来看, 也说明了环境合作如同过去的贸易自由化进程, 只有充分考虑到发展中国家的利益, 才有可能实现更为广阔的环境合作.

参考文献:

- [1] Barrett S. Strategic environmental policy and international trade [J]. *Journal of Public Economics*, 1994, 54(3): 325 - 338.
- [2] Greiner M. Strategic environmental policy: Eco-dumping or a green strategy? [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, 45(3): 692 - 707.
- [3] Porter M E, van der Linde C. Towards a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97 - 118.
- [4] Keohane N O. Cap and trade, rehabilitated: Using tradable permits to control U. S. greenhouse gases [J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2008, 3(1): 42 - 62.
- [5] Sartzetakis E S. Tradeable emission permits regulation in the presence of imperfectly competitive product markets: Welfare implications [J]. *Environmental and Resource Economics*, 1997, 9(1): 65 - 81.
- [6] Hung N M, Sartzetakis E S. Cross-industry emission permits trading [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 1998, 13(1): 37 - 46.
- [7] Sartzetakis E S. On the efficiency of competitive markets for emission permits [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2004, 27(1): 1 - 19.
- [8] Meunier G. Emission permit trading between imperfectly competitive product markets [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 50(3): 347 - 364.
- [9] Antoniou F, Hatzipanayotou P, Koundouri P. Tradable permits vs ecological dumping [R]. *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper Series*, No. 2010.2, 2010.
- [10] Chao H, Peck S. Greenhouse gas abatement: How much? and who pays? [J]. *Resource and Economics*, 2000, 22(1): 1 - 20.
- [11] Shiell L. Equity and efficiency in international markets for pollution permits [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, 46(1): 38 - 51.
- [12] Eshel D. Optimal allocation of tradable pollution rights and market structures [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2005, 28(2): 205 - 223.
- [13] Rehdanz K, Tol R S J. Unilateral regulation of bilateral trade in greenhouse gas emission permits [J]. *Ecological Economics*, 2005, 54(4): 397 - 416.
- [14] Lee T C. Endogenous market structures in non-cooperative international emissions trading [J]. 2011, 16(6): 663 - 675.
- [15] Habla W, Winkler R. Political influence on non-cooperative international climate policy [J]. 2013, 66(2): 219 - 234.
- [16] Carbone J C, Helm C, Rutherford T F. The case for international emission trade in the absence of cooperative climate policy [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(3): 266 - 280.
- [17] Jouvet P A, Michel P, Rotillon G. Competitive markets for pollution permits: Impact on factor income and international equilibrium [J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2010, 15(1): 1 - 11.
- [18] Hintermann B. Market power, permit allocation and efficiency in emission permit markets [J]. *Environmental Resource*

Economics , 2011 , 49(3) : 327 - 349.

[19] 杨仕辉, 魏守道. 溢出率、低碳技术研发形式与碳税政策选择 [J]. 研究与发展管理, 2013, 25(6) : 62 - 71.

Yang Shihui, Wei Shoudao. Spillovers and selection of environmental R&D forms with carbon tax policies [J]. R&D Management, 2013, 25(6) : 62 - 71. (in Chinese)

[20] 杨仕辉, 魏守道. 出口补贴还是出口征税? ——碳关税背景下贸易政策及实施时机选择的博弈分析 [J]. 国际经贸探索, 2014, 30(2) : 28 - 40.

Yang Shihui, Wei Shoudao. Export subsidy or export tariff? A game analysis on the choice of trade policies and the timing based on carbon tariff [J]. International Economics and Trade Research, 2014, 30(2) : 28 - 40. (in Chinese)

[21] 石敏俊, 袁永娜, 周晟吕, 等. 碳减排政策: 碳税、碳交易还是两者兼之? [J]. 管理科学学报, 2013, 16(9) : 9 - 19.

Shi Minjun, Yuan Yongna, Zhou Shengli, et al. Carbon tax, cap-and-trade or mixed policy: Which is better for carbon mitigation? [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(9) : 9 - 19. (in Chinese)

Game analysis and strategy choices of north-south carbon emission quota policies

YANG Shi-hui^{1,2}, *WEI Shou-dao*^{2,3}, *WENG Wei-zhe*²

1. Research Institute of Natural Resources and Environment Sustainable Development, Guangzhou 510632, China;
2. College of Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China;
3. Department of Business Administration, Guangdong University of Finance, Guangzhou 510521, China

Abstract: By reviewing the evolution of carbon emission abatement policies, this paper presents a two-stage game for the interaction between government carbon emission permits policies and firms' abatement level and obtains the equilibrium solution, which is based on the assumptions among double variables (trade comparative advantage and environment comparative advantage), carbon emission quota policies and imperfectly competitive conditions. Using the way of backward induction, we first obtain the equilibrium solution and then get the optimal general steady equilibrium solution considering both the incentive compatibility constraint and the individual rationality constraint. This paper analyses, compares and derives the conditions of policy choices, from the angles of welfare effect, trade effect and environment effect, among the three different permits policies of North-South country (named non-tradable carbon permits policy, tradable carbon permits policy, and cooperative and tradable carbon permits policy respectively). The results show that: From the view of welfare improvement, the permits market would promote effective allocation of resources and leads to a Pareto improvement. In terms of environment improvement, environment effect weights most with cooperative and tradable carbon permits policy, least with non-tradable carbon permits policy. When considering trade improvement, the three policies are equally prosperous, except that the cooperative and tradable permits policy is more favorable for the north while tradable permits are preferred by the south. All the three policies could not fulfill environment and trade improvement at the same time. Thus, in the short term, the south will give preference to the tradable permits policy. It's unpractical for developed countries to achieve global environmental cooperation in a short time. Following a more pragmatic principle and taking the active and steady way, realizing cooperation step by step is a better choice for developed country.

Key words: carbon emission quota; game analysis; strategy choice; non-tradable carbon permits policy; tradable carbon permits policy; cooperative and tradable carbon permits policy