

# 中国实施省际碳排放权交易的潜在成效<sup>\*</sup>

张成 史丹 李鹏飞

**内容提要:**本文以中国省际面板数据为样本,模拟分析了国情无约束和国情有约束条件下,中国实施全国性碳排放权交易的潜在成效。结果表明:(1)作为碳交易理论基石的二氧化碳影子价格,样本年间总体趋于上升,省份间和八大区域间的绝对差距均呈现不断扩大态势,但相对差距则趋于不断缩小。(2)以最大化降低全国碳强度为目标,在维持全国GDP总量不变的国情无约束情景下,碳交易能够降低碳强度20.06%。如果放松对全国GDP总量的硬性约束,并对各地区施加经济增长和环境保护的现实约束,实施碳交易能够降低碳强度22.15%。(3)中国当前的整体碳强度推进进程完成了哥本哈根会议承诺的阶段性目标,通过引入碳排放权的省际交易,能有力推进碳强度的改良进程,甚至能满足哥本哈根会议承诺的总体要求。

**关键词:**碳排放权交易 影子价格 碳强度 哥本哈根会议

**作者简介:**张成,南京财经大学经济学院副教授,210023;中国社会科学院工业经济研究所博士后,100836;

史丹,中国社会科学院工业经济研究所研究员、博士生导师,100836;

李鹏飞,中国社会科学院工业经济研究所副研究员,100836。

**中图分类号:**F062.1 **文献标识码**A **文章编号:**1002-8102(2017)02-0093-16

## 一、问题提出

处于国民经济“十三五”规划的开局之年,回顾过去一个阶段,中国的碳强度推进效果可谓差强人意,能够徘徊于哥本哈根会议承诺和国民经济“十二五”规划的阶段性目标左右,但背后的艰辛可想而知,而且目前取得的成绩在一定程度上“受惠”于GDP增速的持续放缓和“拉闸限电”式的突击措施。随着未来经济的逐步复苏和节能减排措施的日趋正规,哥本哈根会议承诺和下一个国民经济规划目标的完成势必会面临更大的挑战,严峻的现实促使中国需要尽快推行和完善基于

<sup>\*</sup> 基金项目:国家社会科学基金重大招标项目“中国与周边国家电力互联互通战略研究”(13&ZD168);中国博士后科学基金特别资助“能源二重性与中国碳排放权交易的潜在成效”(2016T90166)。作者感谢江苏省333科研资助和江苏青蓝工程培养计划的支持。

市场机制的减排措施,尤其是被世界多国争相采用的以数量控制为特征的碳排放权交易(Emission Permits Trade of Carbon,简称碳交易)机制。

中国政府近年来一直很重视国内碳交易市场的建设工作,特别是十八届三中全会提出的“要发挥市场在资源配置中起决定性作用和更好发挥政府作用”的创新性论述,理顺了政府和市场之间的关系,为更深入地推行基于市场机制的碳交易政策提供了理论支撑和政策依据。从实践上来看,我国自2013年以来,在区域层面和行业层面均取得了一定的突破性成果。在区域层面,我国正在北京市、上海市和广东省等7省市开展碳交易试点工作,各试点区在积极试点的同时,正在探索跨区域碳交易市场对接与融合的方案与模式。在行业层面,国家发改委正式启动了自愿减排项目,公布了钢铁、化工和民航等10个行业温室气体排放核算指南与报告指南,完善了温室气体的统计核算制度,保障了10个行业温室气体自愿减排交易的顺利开展。在此基础上,根据国务院2016年11月印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》,中国将于2017年启动全国碳排放权交易市场。

现在要讨论的是,倘若构建一个全国性的碳交易市场,能取得怎样的“改革红利”?现有文献运用多种方法模拟分析了中国实施全国性碳交易机制的相关效果,并普遍认同碳交易机制在促进节能减排和降低GDP损失上的显著效果(张健等,2009;崔连标等,2013;Hübler等,2014;Cui等,2014;孙睿等,2014;袁永娜等,2016)。如张健等(2009)使用CGE模型和计算模型研究了碳交易和碳税机制对中国各行业的综合影响,发现若要将2006年碳排放量降低10%,碳税机制下需要付出0.23%的GDP损失,但在碳交易机制下,该GDP损失可降低至0.17%。崔连标等(2013)构建了一个省际碳排放权交易模型,重点探讨了在实现各省减排目标的过程中,碳交易机制发挥的成本节约效应,有碳交易能够比无碳交易节约减排成本约23.44%,且碳交易市场对参与交易省份的成本节约效应各不相同。Cui等(2014)基于减排成本函数分别模拟了仅实施碳交易试点和全国性碳交易的成本节约效应,发现两者分别能够节约总减排成本4.50%和23.67%。孙睿等(2014)在碳交易背景下,基于CGE模型分析了碳价格对宏观经济、能源消费和碳减排效果产生的直接和间接影响,并发现碳交易能有效促进煤炭、重工业、电力和轻工业部门的碳减排,但对高排放部门的交通和建筑业的减排效果不明显。Hübler等(2014)基于CGE模型模拟分析若要完成哥本哈根会议承诺会引致多大的福利损失,发现在碳交易作用下,GDP损失可以控制在1%左右。吴力波等(2014)基于中国多区域动态一般均衡模型的模拟结果表明,在信息不完全条件下,碳排放权总量控制与交易机制更适用于现阶段中国实际,随着未来减排力度的加强,则要进一步考虑引入碳税政策。袁永娜等(2016)构建了包含碳排放模块的多区域CGE模型,模拟分析不同初始分配(免费发放与拍卖)方式等多种政策情景下实施碳交易的相关效果,研究结果对碳排放权跨区交易的潜在效果表示认可。

已有文献虽然从不同角度初步估算了碳交易可能会引致的效果,但大部分研究都是基于减排成本函数进行的,将二氧化碳视为一种“坏产出”,需要花费相应的经济成本才能进行削减。实际上,二氧化碳是一种排放物,但不是一种污染物,在现有技术水平下,难以像二氧化硫和化学需氧量那样通过加装终端设备进行削减。现阶段的二氧化碳减排主要是依靠提升能源效率、降低高碳能源比率、优化产业结构、提高生产效率和减少产出等途径来实现,这几种途径都在更大程度上和生产有关。而且,二氧化碳和化石能源是一枚硬币的两面,而能源则是支撑经济增长的重要要素之一。同时,能源和资本、劳动等其他要素还会产生相应替代效应(Smyth等,2011;孙广生等,2012;Steinbuks和Narayanan,2015),进而影响经济的产出水平。因此,要想合理评估碳交易的

潜在成效,更适宜从生产函数角度而非成本函数角度进行分析,客观地评估二氧化碳减排对经济产出的影响。早在1991年,Hueting就指出,环境污染的影子价格是环境公共政策和环境增长核算的基石(Hueting, 1991),它可以应用于环境政策的成本收益分析(Kuosmanen和Kortelainen, 2007),如果各经济体的二氧化碳影子价格相等,那么就达到了经济有效性(Coggins和Swinton, 1996),这也正是碳交易期望达成的效果。

为在理论上推进碳交易的相关研究,在实践中为政府明晰碳交易的潜在成效及制定相关政策提供可能的帮助,本文使用省际面板数据,在估算出省际二氧化碳影子价格的基础上,分两种情景模拟分析省际的碳交易能够对二氧化碳减排、经济增长和碳强度带来多大程度的潜在影响,是否能够有力助推哥本哈根会议承诺的顺利完成。本研究的主要价值在于:(1)与现有文献采取的减排成本函数思路不同,本文注重遵循二氧化碳的要素特征,从生产函数角度进行研究;(2)在情景分析中,本文分国情无约束和国情有约束情景模拟分析碳交易的潜在成效。

## 二、研究方法

本文首先采用随机前沿技术来估算出各省份的二氧化碳影子价格水平,如果二氧化碳影子价格水平在省际存在较大差异,则使用反事实—非线性规划技术模拟分析省际的碳排放权交易,即低效率省份把一定量的碳排放权出售给高效率省份,可以给整体经济带来怎样的潜在效果。

### (一)基于随机前沿技术的二氧化碳影子价格估算

首先需要估算出二氧化碳能够在多大程度上推动经济增长,具体研究时,我们采用了随机前沿技术(Stochastic Frontier Analysis, SFA),主要原因是该方法不仅能够从生产率中分解出技术效率值,而且能控制随机误差项带来的扰动,从而能够更为准确地刻画二氧化碳与产出之间的非线性关系。基于 Battese 和 Coelli(1995)的模型,考虑如下 SFA 函数:

$$Y_{it} = \exp(X_{it}\beta + V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

式中, $i$ 和 $t$ 分别表示截面和时间; $Y$ 和 $X$ 分别表示产出和投入; $\beta$ 为待估参数; $X_{it}\beta$ 表示决策单元产出前沿面上的确定性前沿产出部分,即在现有技术条件时各种要素投入下的确定性最大产出; $V$ 为随机偏差项,满足  $iid N(0, \sigma_v^2)$ ,这是运气因素对产出的随机影响; $U$ 为技术无效率,服从  $iid |N(0, \sigma_u^2)|$ ,该因素是各决策单元由于内部管理水平上的差异所导致的产出损失。技术无效率模型可表示为:

$$U_{it} = Z_{it}\delta + W_{it} \quad (2)$$

其中, $Z$ 表示技术无效率的解释变量; $\delta$ 为待估参数; $W$ 为随机误差项,服从  $N^+(0, \sigma_w^2)$ ,截尾点为  $-Z_{it}\delta$ ,故有  $W_{it} \geq -Z_{it}\delta$ 。若解释变量 $Z$ 的系数显著为正,表明该变量的引入会显著提高技术无效率水平,即降低技术效率水平;反之则反是。

在对随机前沿生产函数进行估算时,参照现有文献,我们采用包括资本( $K$ )、有效劳动<sup>①</sup>( $L$ )、二氧化碳( $C$ )和技术水平( $T$ )在内的函数形式。为便于更为细致地考察要素投入的边际产出与弹

① 用劳动力数量与人力资本水平的乘积表示。

性, 本文将生产函数设定为超越对数形式, 其具体形式如下式所示<sup>①</sup>:

$$\begin{aligned} \text{Log} Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \text{Log} K_{it} + \beta_2 \text{Log} L_{it} + \beta_3 \text{Log} C_{it} + \beta_4 \text{Log} K_{it}^2 + \beta_5 \text{Log} L_{it}^2 + \beta_6 \text{Log} C_{it}^2 \\ & + \beta_7 \text{Log} K_{it} \text{Log} L_{it} + \beta_8 \text{Log} K_{it} \text{Log} C_{it} + \beta_9 \text{Log} L_{it} \text{Log} C_{it} + \beta_{10} T_{it} + \beta_{11} T_{it}^2 \\ & + \beta_{12} T_{it} \text{Log} K_{it} + \beta_{13} T_{it} \text{Log} L_{it} + \beta_{14} T_{it} \text{Log} C_{it} + V_{it} - U_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $\beta$  为待估参数。基于模型估计结果, 可以求得各省份二氧化碳的影子价格 (CDSPP) 水平:

$$\text{CDSPP}_{it} = [(\beta_3 + 2\beta_6 \text{Log} C_{it} + \beta_8 \text{Log} K_{it} + \beta_9 \text{Log} L_{it} + \beta_{14} T_{it}) \cdot Y_{it}] / C_{it} \quad (4)$$

(二) 使用反事实—非线性规划技术的省际碳交易潜在成效评估

自 Fogel(1964) 开创性地运用反事实法 (Counterfactual Analysis, CFA) 之后, 该方法被学者们广泛用于以下两种类型的分析: 第一种是某一事件或事物在历史上存在过, 但假定其不存在, 根据这种假定估算其会对经济运行引起怎样的结果; 第二种是某一事件或事物在历史上不曾存在, 但假定存在过, 根据该假定估算其会对经济运行引起怎样的结果。本文的分析类型属于第二种, 即假设存在全国性碳交易。通过将反事实分析思路与非线性规划技术 (Nonlinear Programming Technique, NLP) 相结合, 则可以用于模拟分析如果开展二氧化碳的省际交易<sup>②</sup>, 能够达到什么样的潜在成效。具体分析时, 进行了如下两种情景的反事实—非线性模拟:

情景 A: 假设资本存量、劳动力数量、人力资本水平、技术水平和技术无效率程度不变, 允许二氧化碳在省际进行交易, 在全国 GDP 总量保持不变前提下, 尽量实现全国碳强度最小化。基于上述思路, 考虑如下反事实—非线性规划:

$$\begin{aligned} & \text{Min } CI_t \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^n Y_{it} = Y_t \\ & \quad Y_{it} = F_i[K_{it}, L_{it}, C_{it}, T_{it}, U_{it}] \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ & \quad \sum_{i=1}^n C_{it} = C_t \\ & \quad CI_t = C_t / Y_t \\ & \quad Y_{it} = \bar{Y}_{it}; K_{it} = \bar{K}_{it}; L_{it} = \bar{L}_{it}; T_{it} = \bar{T}_{it}; U_{it} = \bar{U}_{it} \\ & \quad C_{it} \geq 0; Y_{it} \geq 0 \quad (\forall i, t) \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)假设有  $n$  个省份, 每个省份在既定的技术水平 ( $T$ ) 和技术无效率 ( $U$ ) 下, 依靠资本 ( $K$ )、有效劳动 ( $L$ )、二氧化碳 ( $C$ ) 来提供产出 ( $Y$ ), 并将各种投入分成自由处置和非自由处置两个子集, 且在数学规划时区别对待, 只寻求可自由处置投入量的增减及产出量的扩大, 而保持非自由处置投入量的固定不变。其中, 二氧化碳排放为可自由处置变量; 其余投入则为非自由处置变量。上

<sup>①</sup> 在模型具体形式的选取上, 可以通过  $\gamma$  值检验来判断随机前沿生产函数是否比普通最小二乘 (OLS) 更有效, 并且通过构造类似统计量来对超越对数生产函数的具体形式进行选择。限于篇幅, 不再对具体方法进行赘述, 相关步骤可参见谢建国 (2006)。

<sup>②</sup> 若中国各省份二氧化碳的影子价格不一致, 则表明最后一单位二氧化碳排放在全国的贡献作用是有差异的, 在碳交易的作用下将这一单位投入由低效率省份转移到高效率省份, 则能够提升中国整体的产出水平。

式中各变量上方的“-”号表示取当年的实际水平(下文同)。

情景 B:假设资本存量、劳动力数量、人力资本水平、技术水平和技术无效率程度不变,允许二氧化碳在省际进行交易,但各省份二氧化碳排放量和实际经济增长速度受到一定约束,基于此求得相应的全国碳强度最小化水平。该思路体现为如下反事实—非线性规划:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } CI_t \\
 & \text{s. t. } \sum_{i=1}^n Y_{it} = Y_t \\
 & \quad Y_{it} = F_i[K_{it}, L_{it}, C_{it}, T_{it}, U_{it}] \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\
 & \quad \sum_{i=1}^n C_{it} = C_t \\
 & \quad CI_t = C_t/Y_t \\
 & \quad K_{it} = \bar{K}_{it}; L_{it} = \bar{L}_{it}; T_{it} = \bar{T}_{it}; U_{it} = \bar{U}_{it} \\
 & \quad C_{it} \leq \phi_{it} C_{i,t-1}; Y_{it} \geq \theta_{it} Y_{i,t-1}; C_{it} \geq 0; Y_{it} \geq 0 \quad (\forall i, t)
 \end{aligned} \tag{6}$$

式(6)中的  $\phi$  为二氧化碳排放上限比率系数,用于约束各省份的最高二氧化碳排放量; $\theta$  为 GDP 增长下限比率系数,用于约束各省份的最低 GDP 增长水平。

### 三、变量构造和数据说明

在经验分析中,生产函数模型涉及的变量如下构造:(1)产出( $Y$ ):选取 2000 年不变价的实际地区生产总值作为产出;(2)有效劳动投入( $L$ ):选用年末全社会从业人员数乘以人力资本水平来指代。其中,人力资本水平依照各省份从业人员接受教育程度和教育回报率(Barro 和 Lee, 2013; Psacharopoulos, 1994)计算得出,具体计算时,将未上过学、小学、初中、高中、大学专科、大学本科、研究生及以上,分别赋值为 0、6、9、12、15、16、19;(3)资本投入( $K$ ):用根据永续盘存法计算出的资本存量来衡量,具体计算时采用了单豪杰(2008)的方法;(4)CO<sub>2</sub>投入( $C$ ):通过各种能源消费量来计算 CO<sub>2</sub> 的排放量。计算时采用的能源为煤炭、焦炭、原油、汽油、煤气、柴油、燃料油和天然气 8 种,基于此计算出的 CO<sub>2</sub> 排放系数分别为 1.9580、2.8456、3.0513、2.9251、3.0520、3.0976、3.1851、21.6502(单位为:万吨 CO<sub>2</sub>/万吨或万吨 CO<sub>2</sub>/亿立方米);(5)技术进步( $T$ ):如果需要加入技术进步,则用时间跨度 1~18 刻画。

技术无效率模型涉及的变量如下构造:(1)政府放权度( $G\&M$ ):为了体现十八届三中全会提出的“要发挥市场在资源配置中起决定性作用和更好发挥政府作用”的核心思想,我们选用樊纲等(2011)提供的政府与市场的关系指数来度量,由于该指数仅包括 1997—2009 年的数据,本文根据 VAR 模型将其预测补充至 2012 年;(2)工业服务业比值( $IND$ ):用各省份工业增加值与第三产业增加值的比值度量;(3)外商直接投资比重( $FDI$ ):用 FDI 资本存量与 GDP 的比值衡量。FDI 存量的计算公式为  $ZFDI_{it} = (1-\delta)ZFDI_{i,t-1} + fdi_{it}$ ,其中  $ZFDI$  表示 FDI 资本存量, $fdi$  表示新增 FDI 投资量, $\delta$  为折旧率,本文取 0.096。初期资本存量为 1990 年,计算方式为  $ZFDI_{i,1990} = fdi_{i,1990}/(g+\delta)$ , $g$  为  $fdi$  在 1990—2000 年的年均增长率。(4)科研投入强度( $R\&D$ ):用各省份研究与开发机构经费支出总额表示,且考虑到科研投入影响的滞后效应,本文取滞后一期参与模型回归。

本文采用中国 29 个省份(未考虑西藏、香港、澳门和台湾地区,并将重庆并入四川来考量)1995—2012 年的面板数据为样本,所用数据是根据历年《中国统计年鉴》、《中国人口和就业统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》和分省统计年鉴整理和计算而得。为扣除价格因素的影响,本文所有和价格有关的数据均根据相应价格指数或增长指数调整至 2000 年价格水平。本文相关变量的描述性统计如下表 1 所示。

表 1 相关变量的描述性统计

变量	均值	标准差	极小值	极大值	观察数
GDP	6110.35	6505.77	173.27	42872.29	522
二氧化碳	24267.54	20139.02	562.36	122974.63	522
资本存量	12236.63	13251.12	357.99	84353.71	522
有效劳动投入	19291.25	13824.89	1211.25	68626.99	522
技术进步(时期)	9.50	5.19	1.00	18.00	522
政府放权度	7.63	1.53	3.75	11.55	522
工业服务业比值	1.09	0.30	0.24	1.81	522
外商直接投资比重	0.16	0.14	0.01	0.73	522
科研投入强度	0.0118	0.0098	0.0017	0.0582	522

本文在分析中,不仅将中国各省份分成东中西三个区域,而且根据中国国务院发展研究中心发展战略和区域经济研究部的建议,将 29 个省份分为以下八大区域:东北地区(黑龙江、吉林、辽宁)、北部沿海地区(北京、河北、山东、天津)、东部沿海地区(江苏、上海、浙江)、南部沿海地区(福建、广东、海南)、黄河中游地区(河南、内蒙古、山西、陕西)、长江中游地区(安徽、湖北、湖南、江西)、西南地区(广西、贵州、四川、云南)和大西北地区(甘肃、宁夏、青海、新疆)。

#### 四、二氧化碳影子价格的估算及其分析

##### (一)随机前沿模型估计结果及其解析

在使用随机前沿生产函数模型估算二氧化碳的影子价格时,首先需要对随机前沿生产函数的适用性及具体形式进行判定。根据似然比检验结果,发现随机前沿生产函数适用,且最优形式见表 2 所示,即包括技术进步水平项、二次项在内的超越对数函数形式更为合适。限于篇幅,不再提供具体的检验结果。可以看出,大部分核心自变量在 10% 的显著性水平下显著, $\gamma$  值高达 0.9975,并在 1% 的水平下显著,说明普遍存在技术无效率现象,前沿生产函数的误差主要由技术无效率引致,从而进一步表明开展随机前沿生产函数分析是必要和有效的。

在技术无效率模型中,四个控制变量的影响效果均至少在 1% 的显著性水平下显著,其中政府放权度、外商直接投资比重和科研投入强度这三个变量前的系数为负,表明他们的适度提高会对技术无效率带来负向影响,即能够提升技术效率水平;工业服务业比值前的系数为正,说明适度提

高服务业的比重,是有利于提高技术效率水平的,纵观中国当前大力推进的产业政策也确实正在不断提高服务业比重特别是生产性服务业的比重,在获取服务业增长的同时,力争反哺制造业,实现工业和服务业的共赢(黄永春等,2013;张成等,2015)。

表 2 随机前沿生产函数模型估计结果

解释变量	系数	Z 值	解释变量	系数	Z 值
LnK	0.8082***	(3.8829)	T×LnL	-0.0028**	(-2.4828)
LnL	1.0171***	(3.8825)	T×LnC	-0.0134***	(-4.6457)
LnC	-0.4050***	(-3.4119)	C <sub>1</sub>	0.1167	(0.5875)
LnK×LnL	0.0058	(0.8813)	技术无效率模型		
LnK×LnC	0.1220***	(4.9824)	C <sub>2</sub>	1.9224***	(5.5952)
LnL×LnC	-0.0324#	(-1.4475)	G&M	-0.0657***	(-9.9359)
LnK×LnK	-0.1014***	(-4.1869)	IND	2.3572***	(4.2397)
LnL×LnL	-0.0363*	(-1.7730)	FDI	-3.2458***	(-4.8716)
LnC×LnC	-0.0097	(-0.6800)	R&D	-4.0124***	(-6.7841)
T	0.0575#	(1.6130)	σ <sup>2</sup>	0.1284***	(6.1874)
T×T	0.0003	(1.3547)	γ	0.9975***	(15.8216)
T×LnK	0.0175***	(4.1636)	Log-likelihood	831.6730	

注:括号内为 Z 值;\*\*\*、\*\*、\* 和 # 分别表示在 1%、5%、10% 和 15% 的水平上显著;Ln 表示以 e 为底取对数。

### (二)中国各省份二氧化碳影子价格的时空特征

基于前文随机前沿模型的估计结果,我们估算出了中国各省份二氧化碳在样本年间的影子价格水平,相关结果见图 1。可以发现二氧化碳影子价格与二氧化碳排放量呈现非对称式负相关关系。根据边际报酬递减原理,随着二氧化碳排放量的不断增加,其影子价格会趋于降低,反之则反是。但是在任一排放量左右两侧的影子价格是非对称的,即减少一单位二氧化碳排放量的影子价格要高于增加一单位时的影子价格水平。

在二氧化碳影子价格的取值上,总体呈现了典型的从东至西逐步递减趋势。从八大区域角度来看,在 2012 年,东部沿海地区的二氧化碳影子价格的均值为 0.0762 万元/吨,居于全国首位,而居于末位的大西北地区的二氧化碳影子价格的均值仅为 0.0049 万元/吨。从省份角度来看,广东(0.1040 万元/吨)、福建(0.0807 万元/吨)和上海(0.0795 万元/吨)三个省份的二氧化碳影子价格取值居于全国三强,而宁夏、青海和贵州三个省份的二氧化碳影子价格则居于末位水平,取值分别仅为 0.0010、0.0038、0.0049 万元/吨。

二氧化碳影子价格在样本年间总体呈现了上升趋势,且多数省份在 2002—2005 年的二氧化碳影子价格有增幅下降甚至水平值降低的特征。在 1995—2002 年期间,随着政府对环境问题的重视,大量的小煤矿、小火电和印刷厂关闭,再加上现代企业制度的引入及煤炭等资源价格的市场化改革和非国有工业的快速发展,都有效提高了能源在地区行业间的配置效率(陈诗一,2009),导致该期间二氧化碳影子价格呈现了上升趋势。但在 2003 年之后,为支持房地产、汽车和“铁公基”等基础设施的扩张,石油、建材、采掘、冶金等重工业得以迅速发展(匡远凤、彭代彦,2012),使得之

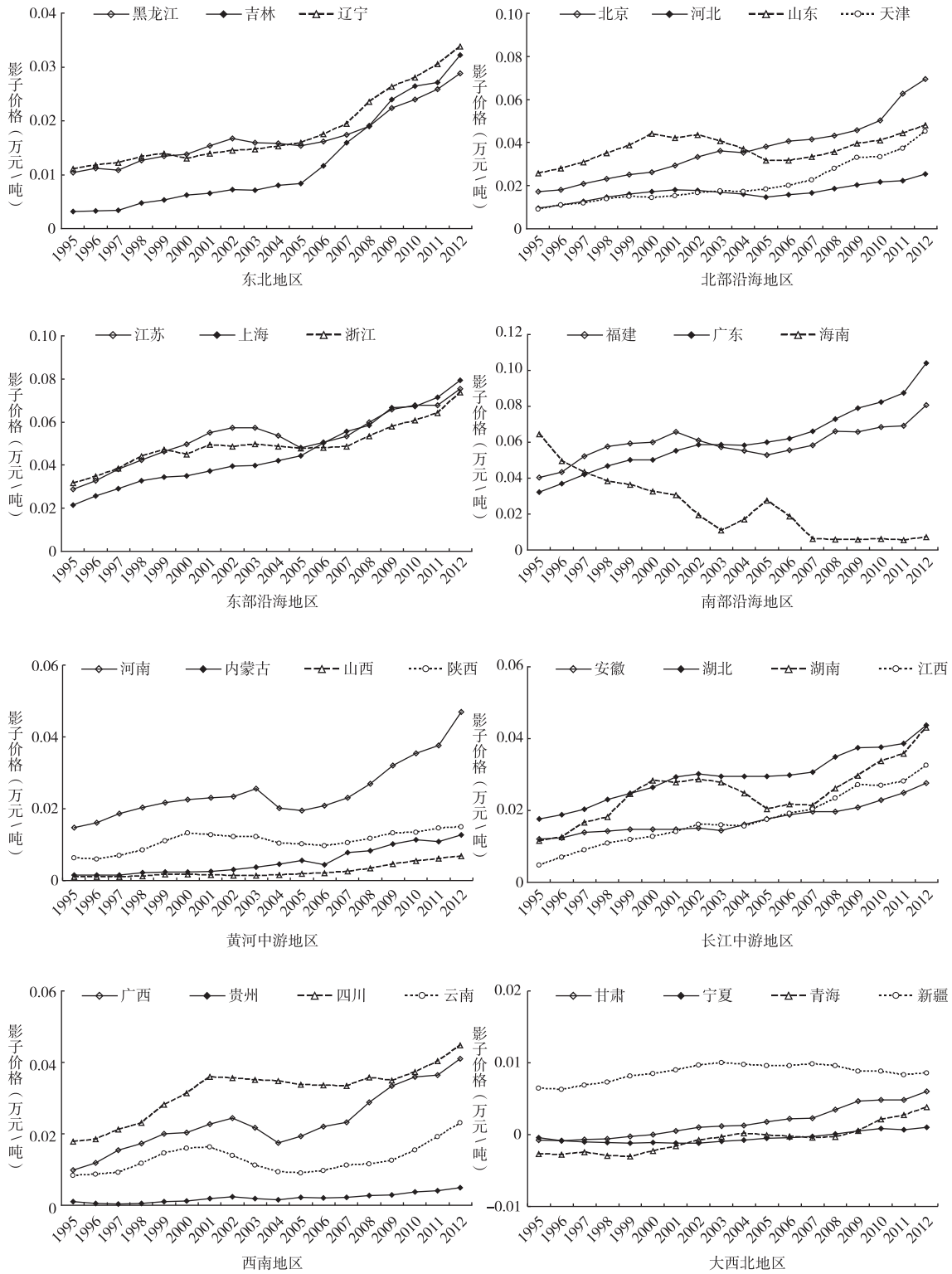


图 1 中国八大地区各省份历年二氧化碳的影子价格



后几年的能源消费量快速增长,远高于资本和劳动力的增长水平,不可避免地导致二氧化碳影子价格增幅受阻乃至小幅降低趋势。自2006年始,随着“十一五”规划等文件对能源和环境问题的再度重视和指标细化,资本和劳动对能源的替代效应逐步升高,相应的二氧化碳影子价格继续升高。虽然受2008年国际金融危机的影响,二氧化碳影子价格增幅再次总体呈现了小幅受阻趋势,但后两年的增幅再次回升。

海南省二氧化碳影子价格的时期演变格局却在样本年间整体处于下降通道,由期初的领先优势降至期末的落后地位。之所以发生这种年际变化,和海南的产业结构调整密切相关,1995—2000年,海南的第二产业比重一直低位徘徊在20%左右,年均43.5%的GDP由第三产业构成,导致全省能源消耗和CO<sub>2</sub>排放较小,1995—2000年间高居首位的碳生产率恰为例证。从2001年开始,第二产业比重趋于上升,由2000年的19.8%上升至2006年的29.0%,而第三产业比重则由2000年的43.8%降至2006年的40.7%,高碳产业的兴起,再加上海南产出能力的相对弱化,导致海南退出并越发偏离效率前沿水平,效率值一度降低至2007年的谷底(0.5201)。但自2007年始,第三产业比重止降反升,由2006年的40.7%增至2012年的46.9%,而且,第三产业内部相对高能耗的交通运输业所占比例明显降低,低能耗的金融保险业和房地产业所占比例则呈快速上升趋势。第三产业比重的提升及内部结构的优化也让海南的超效率值自2008年后有所反弹,小幅增至2012年的0.6225。

此外,从收敛的角度来看,省份间和区域间的绝对差距均呈现不断扩大态势,但相对差距则趋于不断缩小。省份间的标准差由1995年的0.0151上升至2012年的0.0293,变异系数则由1995年的1.0717降低至2012年的0.7906。区域间的标准差由1995年的0.0142上升至2012年的0.0242,变异系数则由1995年的0.9601降低至2012年的0.6156。

## 五、实施省际碳交易的模拟结果分析

### (一)国情无约束下碳交易的潜在成效

正如Coggins和Swinton(1996)指出的那样,由于各经济体在二氧化碳影子价格上存在较大差异性,才为经济体之间开展碳交易提供基本前提。如果能够将低影子价格经济体的二氧化碳排放权转移至高影子价格的经济体,则能够促进总体经济的进一步增长。为此,在假设资本存量、劳动力数量、人力资本水平、技术水平和技术无效率程度不变,而且各省份在GDP增长率和二氧化碳排放量上不存在特殊约束的基础上,我们以全国GDP总量不变为例(情景A),模拟分析如果存在二氧化碳排放权的省际交易,二氧化碳减排及碳强度等指标能够达到何种潜在水平。相关结果见下表3。

可以看出,在2012年,二氧化碳排放总量为1262309.97万吨,通过二氧化碳排放权的省际交易,可以让全国GDP总量不变时,降低二氧化碳排放量253196.39万吨,降低率为20.06%。从八大区域角度来看,东部沿海地区和南部沿海地区的二氧化碳排放量应当分别由原始的省均51184.39万吨和31976.05万吨分别增长至情景A中的78348.40万吨和59812.21万吨,从而使两区域的省均GDP分别增长1667.90亿和2019.91亿。至于其他六大区域,则应在不同程度上减少二氧化碳排放量,特别是黄河中游地区可以通过放弃883.78亿省均GDP的同时,减少40732.02万吨的省均二氧化碳排放量。

从碳强度指标上来看,全国整体的原始水平为3.25吨/万元,通过二氧化碳排放权的省际交易,

表 3 两情景下中国实施省际碳交易的潜在成效

	原始情况			国情无约束(情景 A)			国情有约束(情景 B)			
	GDP	二氧化碳	影子价格	GDP	二氧化碳	影子价格	GDP	二氧化碳	影子价格	
东北 地区	黑龙江	39380.49	0.0288	11105.64	23162.70	0.0504	11451.10	31197.41	0.0369	
	吉林	7709.72	29042.18	0.0322	7288.92	18526.47	0.0504	7399.95	20862.03	0.0448
	辽宁	18787.03	75742.00	0.0338	17738.54	50164.55	0.0504	18358.10	64025.77	0.0398
东北地区平均	12738.05	48054.89	0.0316	12044.37	30617.91	0.0504	12403.05	38695.07	0.0405	
北部 沿海 地区	北京	8755.56	13299.32	0.0690	9031.29	17988.44	0.0504	8698.65	12500.69	0.0736
	河北	18367.12	94587.92	0.0253	16702.99	47099.42	0.0504	17931.40	78833.94	0.0303
	山东	35554.82	122974.60	0.0479	35225.48	116272.50	0.0504	34648.14	105337.80	0.0553
	天津	8837.86	20697.00	0.0452	8736.25	18568.91	0.0504	8309.77	11774.98	0.0794
北部沿海地区平均	17878.84	62889.71	0.0469	17424.00	49982.32	0.0504	17396.99	52111.85	0.0597	
东部 沿海 地区	江苏	36337.10	80714.90	0.0755	39025.31	124591.20	0.0504	35313.99	68170.36	0.0883
	上海	15809.97	27764.93	0.0795	16827.84	43975.83	0.0504	15736.44	26854.50	0.0821
	浙江	22978.83	45073.34	0.0737	24276.45	66478.16	0.0504	22766.06	42275.20	0.0785
东部沿海地区平均	25041.97	51184.39	0.0762	26709.87	78348.40	0.0504	24605.50	45766.69	0.0830	
南部 沿海 地区	福建	15915.61	26228.47	0.0807	16917.90	42070.63	0.0504	15286.98	19480.83	0.1082
	广东	38565.52	62958.68	0.1040	43715.92	135743.10	0.0504	38137.81	58968.35	0.1105
	海南	1920.07	6740.99	0.0071	1827.11	1622.90	0.0504	1883.11	3487.61	0.0184
南部沿海地区平均	18800.40	31976.05	0.0639	20820.31	59812.21	0.0504	18435.97	27312.26	0.0790	
黄河 中游 地区	河南	19911.22	64165.93	0.0469	19685.06	59517.39	0.0504	19441.02	54863.19	0.0545
	内蒙古	8855.42	80532.10	0.0127	7433.94	19852.17	0.0504	8562.09	60410.90	0.0169
	山西	6503.60	79082.14	0.0068	5416.13	12118.48	0.0504	6350.02	59642.02	0.0093
	陕西	7473.56	44469.96	0.0150	6673.55	13834.00	0.0504	7149.19	27519.30	0.0248

续表 3

	原始情况			国情无约束(情景 A)			国情有约束(情景 B)		
	GDP	二氧化碳	影子价格	GDP	二氧化碳	影子价格	GDP	二氧化碳	影子价格
黄河中游地区平均	10685.95	67062.53	0.0204	9802.17	26330.51	0.0504	10375.58	50608.85	0.0264
安徽	11891.94	36043.87	0.0277	11318.30	20502.66	0.0504	11403.95	22277.06	0.0462
湖北	16883.29	42050.38	0.0438	16628.06	36618.72	0.0504	16306.86	30779.93	0.0601
湖南	14614.69	32937.97	0.0431	14399.33	28314.39	0.0504	14115.72	23232.74	0.0619
江西	8050.76	19582.05	0.0325	7789.16	13085.54	0.0504	7796.91	13240.09	0.0498
长江中游地区平均	12860.17	32653.57	0.0368	12533.71	24630.33	0.0504	12405.86	22382.46	0.0545
广西	8205.04	23680.11	0.0410	8007.22	19324.76	0.0504	7961.76	18444.56	0.0529
贵州	3856.98	28857.79	0.0049	3510.32	4309.90	0.0504	3666.85	9269.75	0.0206
四川	23819.32	55061.86	0.0448	23528.31	48938.43	0.0504	22786.67	36237.77	0.0681
云南	6722.84	26226.34	0.0231	6268.32	12639.35	0.0504	6425.37	16198.71	0.0388
西南地区平均	10651.05	33456.53	0.0285	10328.54	21303.11	0.0504	10210.16	20037.70	0.0451
甘肃	3526.99	20890.04	0.0060	3253.48	3886.30	0.0504	3382.90	7889.47	0.0214
宁夏	1016.72	19085.05	0.0010	905.32	1133.92	0.0504	984.80	6111.54	0.0059
青海	1099.02	5927.74	0.0038	1033.84	956.20	0.0504	1056.94	1599.53	0.0259
新疆	4566.29	38511.84	0.0086	3984.35	7816.63	0.0504	4403.21	23888.48	0.0148
大西北地区平均	2552.26	21103.67	0.0049	2294.25	3448.26	0.0504	2456.96	9872.26	0.0170
全国平均	13388.08	43527.93	0.0367	13388.08	34797.02	0.0504	13024.68	32943.95	0.0489
全国整体	388254.32	1262309.97		388254.32	1009113.58		377715.72	955374.55	

注:GDP、二氧化碳、影子价格的单位分别为亿元、万吨、万元/吨。

情景 A 的全国整体碳强度水平为 2.60 吨/万元,比原始水平降低了 20.06%。其中,东部沿海地区和南部沿海地区分别提高了 43.51%和 68.91%,但其他六大区域则获得了不同程度的降低,降低率从高至低依次为大西北地区(81.82%)、黄河中游地区(57.20%)、西南地区(34.34%)、东北地区(32.62%)、长江中游地区(22.61%)和北部沿海地区(18.45%)。可以发现,若将二氧化碳影子价格调整至相同水平,各省份的碳强度排名发生了较大程度的逆转,呈现了从西至东递减格局,原因就在于资本和劳动力大量集中在东部省份,虽然东部省份的技术水平和技术效率高于中西部省份,但过于集中的资本和劳动力,必然会带来相对低水平的资本影子价格和劳动力影子价格,使得资本和劳动的产出效率低于中西部省份,从而导致东部省份的碳强度水平高于中西部省份。

通过实施省际碳交易,可以让原始差异化极大的影子价格,调整至统一的水平(0.0504 万元/吨),实现了二氧化碳边际产出的省域均等。概括地看,是大西北地区等六个地区出售了一部分二氧化碳排放权到东部沿海地区和南部沿海地区,但具体到各地区内部,则有一些差异性,可以用三点特征对此进行概括:(1)东北地区、黄河中游地区、长江中游地区、西南地区和大西北地区省份全部需要不同程度地出售二氧化碳排放权,北部沿海地区总体需要出售二氧化碳排放权,但其中的北京则需要购买二氧化碳排放权来实现更高的经济产出。东部沿海地区省份全部需要不同程度地购买二氧化碳排放权,南部沿海地区总体需要购买二氧化碳排放权,但其中的海南则需要出售二氧化碳排放权。(2)各省份原始二氧化碳影子价格与碳交易后统一的水平差距越大,则其需要调整的二氧化碳排放量往往就相对越大。(3)除二氧化碳影子价格外,二氧化碳的具体调整量还受到经济规模的影响。

## (二)国情有约束下碳交易的潜在成效

支撑情景 A 模拟结果的前提假设很简单,就是低效率省份把一定量的碳排放权出售给高效率省份,让高效率省份使用这些碳排放权创造出更高的经济产出,并用部分新增的经济产出弥补低效率省份的产出损失,从而达到即使整体经济产出不变仍能有效降低二氧化碳排放量及碳强度的目的。但这种情景模拟在现实经济中缺乏现实操作性。如果单纯地将排放权交至发达地区,高效率的发达地区反而会沦为生产机器,大量增加经济产出的同时,无疑会排放大量废水、二氧化硫、固体废弃物等污染物,使得发达地区的生态环境进一步恶化。与此同时,低效率的欠发达地区不用承担额外的污染排放,就可以获得相应的经济补偿,表面上来看似乎有利无害,实际上可能会给欠发达地区引致路径依赖,使其错失了经济增长的快速发展机遇,不利于欠发达地区经济的进一步发展与腾飞。因此,在实际操作中,需要结合中国国情,在欠发达地区的经济增长和发达地区的环境容量上均有所考量,才能均衡全国的经济增长与环境保护问题。依然基于 2012 年的数据,我们进行如下国情有约束的现实可行模拟:假设资本存量、劳动力数量、人力资本水平、技术水平和技术无效率程度不变,将各省份二氧化碳排放量约束为不得高于各自的当前实际水平,同时东中西部的实际经济增长速度分别不能低于 7%、7.5%和 8%,我们以最大化降低碳强度为目标(情景 B),模拟分析二氧化碳排放权的省际交易能够达到何种潜在效果。

通过观察情景 B 的相关结果(见表 3),发现在经济增速和环境保护的双重限制下,二氧化碳排放总量降低至 955374.51 万吨,较原始情况降低了 24.32%,GDP 总量则降低至 377715.72 亿元,降低率为 2.71%,碳强度则由原始的 3.25 吨/万元降低至此时的 2.53 吨/万元,降低了 22.15%。全国各省份的调整方向均与全国整体趋势一致。相对而言,大西北地区在二氧化碳省

均降低率和碳强度省均降低率上均处于全国领先水平,而东部沿海地区在二氧化碳省均降低率和碳强度省均降低率上的取值则相对最低。至于二氧化碳影子价格,全国整体提升至0.0489万元/吨,提升了33.20%,其中大西北地区的改进情况最为明显,提升了246.94%,东部沿海地区的改进情况相对最小,仅提升了8.92%。虽然各省份的GDP在情景B中有不同程度降低,但碳强度有更大幅度改良。在情景B的碳交易模拟中,我们力图在受到经济增速和环境容量的双重约束下,来实现中国整体的碳强度最小化,此时到底是经济增速还是环境容量起到实际的约束作用,则取决于GDP二氧化碳弹性的具体取值。如果该弹性小于1,则表明二氧化碳每减少百分之一,GDP降低率会少于百分之一,随着二氧化碳排放量的不断减少,相应的碳强度会呈现改良趋势,则此时起到实际约束作用的是GDP的最低增速限制。反之,若弹性大于1,则是随着二氧化碳排放量的不断增加,相应的碳强度会呈现改良趋势,则此时起到实际约束作用的是环境容量的最高限制。该弹性在情景B中的取值全部小于1,说明随着二氧化碳排放量的不断减少,相应的碳强度会呈现改良趋势,则GDP的最低增速限制起到实际的约束作用。因此,随着二氧化碳排放量的降低,虽然GDP亦有所下降,但碳强度总体呈显著改良趋势。需要注意的是,在情景B中,即使实施了省际碳交易,二氧化碳影子价格没有像情景A那样调整至统一的水平,而是呈现了整体强化趋势。在情景A中,因为未对分省GDP和二氧化碳指标做任何约束,所以在碳交易作用下,各省份的二氧化碳影子价格会调整至统一的0.0504万元/吨。但在情景B时,我们对各省份的经济增速和环境容量有了严格约束,使得各省份二氧化碳排放量只能在约束下有限地进行调整,从而导致所有省份的二氧化碳影子价格均呈现了不同程度的上升态势,但省份间的差距依然明显。

本文根据中国政府在哥本哈根会议上做出的要在2020年将碳强度比2005年下降40%~45%的郑重承诺,对当前的减排推进进程进行了估算。计算结果表明,中国2012年的分省加总碳强度为3.2512吨/万元,比2005年降低了26.73%。假如我们以2020年降低40%为最低目标,需要每一年的碳强度比上年降低3.62%,则应在2012年累计降低22.76%。可见,中国在推进哥本哈根会议承诺上的实践进程较为顺利,彰显了我国在履行国际承诺上的负责态度与大国风范。如果引入碳排放权的省际交易,据分省加总数据计算的碳强度在情景A和情景B,分别能够将2012年碳强度降低至2.5991和2.5293吨/万元,从而能够比2005年分别降低41.43%和43.00%,已经能够完成我国在哥本哈根会议上的全部承诺目标。

## 六、结论与讨论

虽然中国当前的碳强度推进效果总体上是可圈可点的,但成绩的背后有两个事实不容回避:一是碳强度的降低一定程度上“受惠”于GDP增速的持续放缓。自2011年以来GDP实际增速持续下滑,2014年的增速更是降低至6.9%。由于GDP二氧化碳弹性小于1,GDP增速的降低在客观上是有利于降低碳强度的,但问题在于中国的国情还能承受多大的GDP放缓空间?如若GDP增速再次回暖,势必会对碳强度的降低工作带来极大考验。二是碳强度的降低还在一定程度上“得益”于“拉闸限电”式突击式措施。回顾“十一五”期间,为完成节能降耗的考核指标,江苏、浙江、山西和河北等地纷纷拉闸限电,以期突击式完成节能减排目标。整个“十二五”期间,中国大多数省份纷纷表示正在逐步告别“拉闸限电”时代,但许多省份实际上依然准备了限电预案,只不过因经济增速放缓没有对能源和电力消耗带来压力,而最终不需“拉闸限电”。这就表明如果不能实

施强有力的系统性节能减排方案,“拉闸限电”式突击性措施有可能会随着未来经济的复苏而再次上演。因此,在当前的国情背景下,特别是在十八届三中全会提出了“要发挥市场在资源配置中起决定性作用和更好发挥政府作用”的创新性论述之后,尽快推进以碳交易为代表的基于市场机制的节能减排措施势在必行。

本文先以中国 1995—2012 年的省际面板数据为样本,使用 SFA 方法估算出了中国各省份二氧化碳的影子价格水平,然后使用 CFA—NLP 方法从生产函数角度,以 2012 年为例,模拟分析了国情无约束和国情有约束情景下,实施碳交易的潜在成效。研究表明:(1)各省份二氧化碳影子价格呈现了典型的东中西递减趋势,并在样本年间总体呈现了上升趋势,但增长幅度也呈现了明显的东中西递减趋势,从而导致各省份间的绝对差距呈现不断扩大态势。本文还发现二氧化碳影子价格在任意二氧化碳排放量的左右两侧是非对称的,右侧的影子价格水平要低于左侧。(2)以最大化降低全国碳强度为目标,在维持全国 GDP 总量不变的国情无约束情景下,碳交易的成效能够降低碳强度 20.06%。如果放松对全国 GDP 总量的硬性约束,并对各地区施加经济增长和环境保护的现实约束,实施碳交易能够在直接成效上降低碳强度 22.15%,但这需要将全国 GDP 降低 2.71%。(3)中国 2012 年的碳强度水平,顺利完成了哥本哈根会议承诺的阶段性目标,如若引入碳排放权的省际交易,能有力推进碳强度的改良进程,甚至能够完成哥本哈根会议承诺的总体要求。

本研究的政策建议可以体现在以下几点:

1. 提前谋划与他国碳交易市场的体系连接,抢占国际碳交易市场的主控权。历经多年的实践演变,国际碳交易市场的形成模式存在着两种典型路径。第一种是由国际条约促成的“自上而下”式国际碳交易市场模式,但随着以京都模式<sup>①</sup>为代表的国际碳交易市场模式的日渐式微,另一种路径趋于增强。与前者不同,第二种路径是各地区先独立发展各自的碳交易市场,然后“自下而上”式地进行相互对接与融合,如美国的加利福尼亚州和加拿大的魁北克省于 2014 年 1 月正式将二氧化碳总量控制和交易计划进行连接;世界上最大的两大国家级碳交易体系——欧盟与澳大利亚,也定于 2015 年 7 月开始对接碳交易体系,并将于 2018 年 7 月前完成所有对接,形成完全统一的碳交易市场。不论是“自上而下”还是“自下而上”式的国际碳交易市场形成模式,无疑均传递出一个信号:体系连接已经成为国际碳交易市场的一个必然趋势(庞韬等,2014)。因此,在国际碳交易市场尚未构建完毕之前,中国应当提前谋划、积极参与,积极抢占国际碳交易市场的定价权与话语权。

2. 可以配套征收碳税,起到短期过渡和长期有机融合的作用。在碳交易实施之前,征收碳税是国际上降低碳排放的一项重要政策,自瑞典、丹麦和芬兰等北欧国家先行先试后,英国、德国和美国等国家也进行了试点(魏守道、汪前元,2015)。在国际实践中,越来越多的国家同时实施了碳交易机制和碳税机制,就是因为两种机制各有利弊,存在着相互补充而非互相替代的关系。在短期,如果构建全国性碳交易市场有较大难度,可以先通过征收碳税来进行短期过渡。在长期,由于碳交易更适用于大中型企业或大的排放源,即使碳交易市场构建完毕,也需要碳税机制进行补充,以便对小微企业和居民进行相应约束。根据国家财政部的初步规划,我国碳税政策或将在“十三五”期间出台,税率初步设在每吨二氧化碳征收 10 元,再逐步提高。这一标准的政策效果会如何,学者们的观点并不统一。但肯定的是,在制定碳税时,必须注意

<sup>①</sup> 即由《京都议定书》促成的“自上而下”式国际碳交易市场模式。

税率大小要足以影响和改变人们的行为,追加的社会成本必须足以激发人们潜在的保护环境的动力,只有这样才能真正体现碳税或环境税的制度价值(陈诗一,2010),如姚昕、刘希颖(2010)在研究中就指出碳税应当从2010年12.49元/吨逐步上升至2020年的57.61元/吨。实际上,本文在二氧化碳影子价格上的估算,可以为合理制定差异化的碳税标准提供技术支撑。

参考文献:

1. 陈诗一:《工业二氧化碳的影子价格:参数化和非参数化方法》,《世界经济》2010年第8期。
2. 陈诗一:《能源消耗二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》2009年第4期。
3. 崔连标、范英、朱磊、毕清华、张毅:《碳排放交易对实现我国“十二五”减排目标的成本节约效应研究》,《中国管理科学》2013年第1期。
4. 樊纲、王小鲁、朱恒鹏:《中国市场指数——各省区市场化相对进程2011年度报告》,经济科学出版社2011年版。
5. 黄永春、郑江淮、杨以文、祝吕静:《中国“去工业化”与美国“再工业化”冲突之谜解析》,《中国工业经济》2013年第3期。
6. 匡远凤、彭代彦:《中国环境生产效率与环境全要素生产率分析》,《经济研究》2012年第7期。
7. 庞韬、周丽、段茂盛:《中国碳排放权交易试点体系的连接可行性分析》,《中国人口·资源与环境》2014年第9期。
8. 孙广生、黄伟、田海峰、王凤萍:《全要素生产率、投入替代与地区间的能源效率》,《经济研究》2012年第9期。
9. 孙睿、况丹、常冬勤:《碳交易的“能源—经济—环境”影响及碳价合理区间测算》,《中国人口·资源与环境》2014年第7期。
10. 单豪杰:《中国资本存量K的再估算:1952—2006年》,《数量经济技术经济研究》2008年第10期。
11. 魏守道、汪前元:《南北国家环境规制政策选择的效应研究》,《财贸经济》2015年第11期。
12. 吴力波、钱浩祺、汤维祺:《基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制》,《经济研究》2014年第9期。
13. 谢建国:《外商直接投资对中国的技术溢出:一个基于中国省区面板数据的研究》,《经济学(季刊)》2006年第4期。
14. 姚昕、刘希颖:《基于增长视角的中国最优碳税研究》,《经济研究》2010年第11期。
15. 袁永娜、李娜、石敏俊:《我国多区域CGE模型的构建及其在碳交易政策模拟中的应用》,《数学的实践与认识》2016年第3期。
16. 张成、史丹、王俊杰:《中国碳生产率的潜在改进空间》,《资源科学》2015年第6期。
17. 张健、廖胡、梁钦锋、周志杰、于广锁:《碳税与碳排放权交易对中国各行业的影响》,《现代化工》2009年第6期。
18. Barro, R. J. & Lee, J. W., A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950—2010. *Development Economics*, Vol. 104, 2013, pp. 184—198.
19. Battese, G. E. & Coelli, T. J., A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, Vol. 20, No. 2, 1995, pp. 325—332.
20. Coggins, J. S. & Swinton, J. R., The Price of Pollution: A Dual Approach to Valuing SO<sub>2</sub> Allowances. *Environmental Economics and Management*, Vol. 30, No. 1, 1996, pp. 58—72.
21. Cui, L. B., Fan, Y., Zhu, L. & Bi, Q. H., How Will the Emissions Trading Scheme Save Cost for Achieving China's 2020 Carbon Intensity Reduction Target? *Applied Energy*, Vol. 136, No. 31, 2014, pp. 1043—1052.
22. Fogel, R., *Railroads and American Economic Growth: Essays in Econometric History*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1964.
23. Hübler, M., Voigt, S., & Löschel, A., Designing an Emissions Trading Scheme for China—an up-to-date Climate Policy Assessment. *Energy Policy*, Vol. 75, No. 6, 2014, pp. 57—72.
24. Huetting, R., Correcting National Income for Environmental Losses: a Practical Solution for a Theoretical Dilemma, National Income and Nature: Externalities, Growth and Steady State, Springer Netherlands, 1991.
25. Kuosmanen, T., & Kortelainen, M., Valuing Environmental Factors in Cost-Benefit Analysis Using Data Envelopment Analysis. *Ecological Economics*, Vol. 62, No. 1, 2007, pp. 56—65.
26. Psacharopoulos, G., Returns to Investment in Education: a Global Update. *World Development*, Vol. 22, No. 9, 1994, pp. 1325—1343.
27. Smyth, R., Narayan, P. K., & Shi, H., Substitution between Energy and Classical Factor Inputs in the Chinese Steel

Sector. *Applied Energy*, Vol. 88, No. 1, 2011, pp. 361–367.

28. Steinbuks, J., & Narayanan, B. G., Fossil Fuel Producing Economies have Greater Potential for Industrial Interfuel Substitution. *Energy Economics*, Vol. 47, No. 4, 2015, pp. 168–177.

## Potential Effect Simulation of Carbon Trading in China

ZHANG Cheng (Nanjing University of Finance and Economics, 210023;

Chinese Academy of Social Sciences, 100836)

SHI Dan, LI Pengfei (Chinese Academy of Social Sciences, 100836)

**Abstract:** Taking provincial panel data of China as sample, this paper simulates and analyzes the potential effect of carbon emissions trading (carbon trading) in China under the condition of unconstrained and constrained national conditions respectively. The results are as follows: (1) As the theoretical basis of carbon trading, the shadow price of carbon dioxide is inclined to rise generally. The absolute gap between provinces and eight regions tends to increase, but the relative between provinces and eight regions tends to decrease. (2) Setting the reduction of national carbon intensity to the greatest degree as the aim, under the condition of the given national GDP, the effect of carbon trading can reduce carbon intensity by 20.06%. When the strict constraint of national GDP is relaxed, and the constraint of economic growth and environment conservation of each region is imposed, the effect of carbon trading can reduce carbon intensity by 22.20%. (4) General carbon intensity of China in 2012 completed the stage goal of the commitment made in Copenhagen Conference, and when introducing the provincial trade of carbon emissions, not only the reducing process of carbon intensity can be improved, but also the general requirements of the commitment made in Copenhagen Conference can be met.

**Keywords:** Carbon Trading, Shadow Price, Carbon Intensity, Copenhagen Conference

**JEL:** O21, Q01, Q56

责任编辑:原 宏