

【产业经济】

“十二五”时期中国碳排放额度分配评估

——基于效率视角的比较分析

李小胜, 宋马林

(安徽财经大学统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030)

[摘要] 碳排放交易体系成为减少二氧化碳排放的重要政策工具, 初始碳排放额度分配是交易体系设计的核心问题, 如何从国家整体效率最大化的视角研究初始碳排放额度分配是既有研究尚未关注到的重要问题。本文利用中国“十二五”时期的数据, 采用集中分配 DEA 模型, 测算了中国 30 个省份的碳排放初始额度分配情况。测算结果显示: ①“十二五”时期碳排放额度的空间分配表明, 效率低的省份碳排放额度分配小于实际排放, 因此, 应该减少排放; 而效率高的省份则应该增加排放。北京、上海和山西处在前沿面上, 碳排放额度没有发生变化, 其他发达省份的碳排放额度应该增加, 但中、西部省份的碳排放额度应该减少; ②对各省份“十二五”时期产出最大化下碳排放额度进行分配, 发现不发达省份的碳排放额度在减少, 而发达省份的碳排放额度有所增加, 各省份的经济增长速度应适度降低; ③通过比较分析, 发现采用公平、效率等单指标分配碳排放额度时, 公平原则效果不好, 而单指标效率分配与集中分配 DEA 模型结果类似, 但却没有后者的分辨能力强。因此, 本文的效率分配方法对指导中国未来碳交易市场的初始额度分配具有重要的参考意义。

[关键词] 二氧化碳排放; 集中分配 DEA; 效率分配; 公平分配

[中图分类号]F424.1 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2015)09-0099-15

一、问题提出

《京都议定书》对碳减排问题提出了三种灵活的机制: 联合履约机制、清洁发展机制和碳排放交易机制, 其中碳排放交易机制成为减少二氧化碳排放的重要政策工具。碳排放交易机制需要依托碳排放市场的建立。近年来, 中国碳排放交易市场发展迅速。2011年11月国家发展和改革委员会(简称国家发改委)在《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》中提出在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东及深圳7省份建立碳排放权交易试点。2013年6月18日深圳市碳排放权交易市场首先开市

[收稿日期] 2015-08-07

[基金项目] 国家社会科学基金一般项目“资源环境约束下全要素生产率增长的测度方法拓展与实证分析研究”(批准号 14BTJ011); 国家自然科学基金面上项目“面向大数据的环境绩效评价理论、方法及其应用研究”(批准号 71471001); 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“自然资源管理体制研究”(批准号 14JZD031)。

[作者简介] 李小胜(1976—), 男, 安徽枞阳人, 安徽财经大学统计与应用数学学院副教授, 经济学博士; 宋马林(1972—), 男, 安徽蚌埠人, 安徽财经大学统计与应用数学学院教授, 管理学博士。通讯作者: 李小胜, 电子邮箱: lixiaosheng123@126.com。

交易,其后随着重庆碳排放交易所于2014年6月19日开市,国家确定的7个试点碳交易市场全部启动。

目前中国碳排放权交易市场存在着交易量小、交易区域分割等问题。为落实《“十二五”控制温室气体排放工作方案》,推动建立全国碳排放权交易市场,2014年12月国家发改委起草《碳排放权交易管理暂行办法》,规定碳排放额度在初期以免费分配为主,适时引入有偿分配,并逐步提高有偿分配的比例。碳排放交易市场分为碳排放额度初始分配一级市场和碳排放额度自行交易的二级市场。初始碳排放额度分配是碳排放交易体系的核心,有了初始的碳排放额度分配才会有二级市场的交易。《碳排放权交易管理暂行办法》规定,碳排放初始额度分配采用免费的形式。那么,免费分配的依据是什么?如何分配初始额度?这是国内外碳排放交易市场建设的重要问题。在这一背景下,国内外学者对如何分配一个国家或省份间的初始额度进行了大量的探讨。

Bohm and Larsen^[1]提出按照人均减排费用相等原则分配初始额度,Kverndokk^[2]提出按照人口规模分配初始额度,Janssen and Rotmans^[3]提出应按照国家人均排放均等原则分配初始额度,Cramton and Kerr^[4]认为应该采用拍卖形式分配,丁仲礼^[5]认为应该按照人均累积排放原则分配初始额度。Mackenzie et al.^[6]、原毅军^[7]将以往的初始额度分配方式分为两种:①无偿发放(Grandfathering,即世袭制),分配的原则主要有基于历史排放和基于未来排放原则,缺点是不符合公平原则。②拍卖,与无偿发放相比,这种方式能够增加管理者收入,但却增加了企业的负担。最近20年来,关于碳排放权的分配,很多学者提出了自己的观点^[8-9],但现有文献都十分重视公平原则,没有考虑按照效率进行分配。近年来,Lozano et al.^[10]、Feng et al.^[10]、Wang et al.^[11]、苗壮等^[12]才开始从个体效率最大化的角度对各个国家和省份间的碳排放额度进行分配。

然而,上述从个体效率或者利益最大化的角度进行碳排放额度分配,显然不适用于一个国家内省份间的分配。作为一个国家的宏观决策者,不但要考虑各个体的效率或利益最大化,还要从国家的整体利益或效率最大化出发来决策。基于此,本文从国家整体效率最大化出发,采用集中分配数据包络模型(Centralized DEA,简称集中分配DEA),研究了“十二五”时期中国30个省份每年碳排放额度的重新分配,以及“十二五”时期30个省份产出最大化下各省份碳排放额度的重新分配。为了比较分析,本文还利用一些单指标的方法对中国各省份的碳排放额度进行分配,并将上述三种分配结果与实际的碳排放值做比较。通过上述研究,本文旨在为中国未来碳排放的初始额度分配提供一些量化的参考依据。

二、研究设计

本文立足于国家整体效率最大化,采用多指标集中分配DEA模型,对碳排放的初始额度进行分配,较以往碳排放额度分配的单指标方法考虑的因素更加全面。但这种分配过程有它的特殊性,不但要考虑生产中的期望产出,而且还要考虑生产过程中的非期望产出,所以,需要应用到环境生产技术^[13]。在考虑环境生产技术的基础上,本文借鉴Färe et al.^[13]、Zhou et al.^[14]的时间和空间分配方法,提出了碳排放额度的时间总量分配方法,对“十二五”时期中国30个省份(中国台湾、香港、澳门和西藏除外)的碳排放初始额度进行分配。

1. 环境生产技术

假设有 N 个省份,每个省份利用资本(K)、劳动力(L)和能源(E)三种投入要素,生产出期望产出——国内生产总值(Y)和非期望产出——二氧化碳排放(C)。该生产过程是一种多投入、多产出的情况,与经典的生产过程明显不同,既考虑了期望产出,又考虑了非期望产出;期望产出越大越

好,非期望产出越小越好。实际上,这两种产出是相伴产生的,Färe et al.^[13]认为世界上没有不“冒烟”的工厂,即没有非期望产出,就没有期望产出。本文将环境生产技术表示为 $P=\{(K,L,E;Y,C): (K,L,E)\text{ can produce}(Y,C)\}$ 。这里的环境生产技术 P 满足标准的生产函数理论,具备以下3个性质:①有限的投入只能生产出有限的产出,投入和期望产出是强可处置或可自由处置的,即如果 $(K,L,E;Y,C) \in P$,且 $Y' \leq Y$ 时, $(K,L,E;Y',C) \in P$,表明期望产出 Y 是强可处置的。②非期望产出的弱可处置性,即当 $(K,L,E;Y,C) \in P$,且满足 $0 \leq \theta \leq 1$ 时, $(K,L,E;\theta Y,\theta C) \in P$,表明期望产出和非期望产出具有联合弱可处置性,即减少污染是有成本的。③零结合性,即当 $(K,L,E;Y,C) \in P$,且 $C=0$ 时, $Y=0$,表明没有非期望产出,就没有期望产出。对于满足上述3个性质的环境生产技术 P ,可以表示为:

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (K,L,E;Y,C): \sum_{n=1}^N z_n K_n \leq K, \sum_{n=1}^N z_n L_n \leq L, \sum_{n=1}^N z_n E_n \leq E \\ \sum_{n=1}^N z_n Y_n \geq Y, \sum_{n=1}^N z_n C_n = C, z_n \geq 0, n=1,2,\dots,N \end{array} \right. \quad (1)$$

2. 分省份的期望产出和非期望产出的空间分配方法

基于环境生产技术,国家宏观决策者的目标是希望在期望产出最大化的情况下,非期望产出尽可能最小化,但根据上述性质可知,要保持经济增长,在某些情况下排放是必不可少的。因此,在总的碳排放额度固定的情况下,如何在各省份之间进行碳排放额度的分配,从而实现产出最大化,就是一个资源优化分配问题。Zhou et al.^[14]提出了集中分配 DEA 模型,从国家宏观决策者的角度出发,从时间和空间上对资源进行重新分配,达到产出最大化。本文借鉴该方法,假设一个国家或省份将未来的排放设定为现在排放的 δ 比例,其中 $0 < \delta \leq 1$,后续研究中设置 $\delta=1$,那么,期望产出和非期望产出应该如何调整?国家宏观决策者从整体效率最大化出发来分配各省份碳排放额度的空间思想可以表示为:

$$\begin{array}{l} \max \sum_{n=1}^N \hat{Y}_n \\ \text{s.t.} : \sum_{l=1}^N z_{ln} K_l \leq K_n, n=1,2,\dots,N; \sum_{l=1}^N z_{ln} L_l \leq L_n, n=1,2,\dots,N \\ \sum_{l=1}^N z_{ln} E_l \leq E_n, n=1,2,\dots,N; \sum_{l=1}^N z_{ln} Y_l \geq \hat{Y}_n, n=1,2,\dots,N \\ \sum_{l=1}^N z_{ln} C_l = \hat{C}_n, n=1,2,\dots,N; \sum_{l=1}^N \hat{C}_l = \delta \cdot \sum_{l=1}^N C_l \\ z_{ln} \geq 0, \hat{Y}_n \geq 0, \hat{C}_n \geq 0, n,l=1,2,\dots,N \end{array} \quad (2)$$

其中, \hat{C}_l 表示分配后的碳排放额度, C_l 表示各省份的实际碳排放量; \hat{Y}_n 表示各省份重新分配后的产出, Y_l 表示各省份的生产总值; z_{ln} 表示权重变量; $n,l=1,2,\dots,N$ 表示省份的数量; $\sum_{l=1}^N \hat{C}_l = \delta \cdot \sum_{l=1}^N C_l$ 表示重新分配后的各省份碳排放是原来的 δ 比例; $\sum_{l=1}^N z_{ln} C_l = \hat{C}_n$ 表示碳排放的弱可处置性。

3. 分省份的计划时间内产出最大化下的重新分配方法

式(2)是考虑每年各省份产出之和最大化情况下碳排放的重新分配。实际中,经常会存在考虑

各省份在计划时间内产出之和最大化情况下的碳排放额度分配情况,即时间上的最优分配。基于环境生产技术,假设国家宏观决策者的目标是希望各省份各期的期望产出之和最大化,那么,在总的碳排放额度固定为原来的一定比例的情况下,对于具体的省份 n_0 ,其在各时期产出之和最大化下碳排放额度分配可以表示为:

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{t=1}^T \hat{Y}_{n_0}^t \\
 & \text{s.t.} : \sum_{l=1}^N z_l^t K_l^t \leq K_{n_0}^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{l=1}^N z_l^t L_l^t \leq L_{n_0}^t, t=1, 2, \dots, T \\
 & \sum_{l=1}^N z_l^t E_l^t \leq E_{n_0}^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{l=1}^N z_l^t Y_l^t \geq \hat{Y}_{n_0}^t, t=1, 2, \dots, T \\
 & \sum_{l=1}^N z_l^t C_l^t = \hat{C}_{n_0}^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{t=1}^T \hat{C}_{n_0}^t = \delta \cdot \sum_{t=1}^T C_{n_0}^t \\
 & z_l^t \geq 0, \hat{Y}_{n_0}^t \geq 0, \hat{C}_{n_0}^t \geq 0, t=1, 2, \dots, T; l=1, \dots, N
 \end{aligned} \tag{3}$$

4. 全部省份各期总和的重新分配方法

根据式(2)和式(3),能够得到各省份各年的碳排放数据,将该数据与实际数据作比较,就能够看出各个省份分配额度的增减变化。那么,在全部省份产出之和最大化情况下,计划时间内每年分配的总额度应该是多少呢?为此,本文借鉴 Zhou et al.^[14]的集中分配 DEA 模型,提出了考虑全国碳排放总额在时间上分配的改进模型,可以表示为:

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{t=1}^T \hat{Y}^t \\
 & \text{s.t.} : \sum_{l=1}^N z_l^t K_l^t \leq K^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{l=1}^N z_l^t L_l^t \leq L^t, t=1, 2, \dots, T \\
 & \sum_{l=1}^N z_l^t E_l^t \leq E^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{l=1}^N z_l^t Y_l^t \geq \hat{Y}^t \\
 & \sum_{l=1}^N z_l^t C_l^t = \hat{C}^t, t=1, 2, \dots, T; \sum_{t=1}^T \hat{C}^t = \delta \cdot \sum_{t=1}^T C^t \\
 & z_l^t \geq 0, \hat{Y}^t \geq 0, \hat{C}^t \geq 0, t=1, 2, \dots, T
 \end{aligned} \tag{4}$$

其中, K^t 、 L^t 、 E^t 表示各期各省份资本存量总和、劳动力总和和能源消费总和, \hat{C}^t 表示各期重新分配后的碳排放额度总和, \hat{Y}^t 表示重新分配后的各期产出总和, C^t 表示实际的各期碳排放额度总和, Y_l^t 表示各期各省份的产出, z_l^t 表示权重变量, $t=1, 2, \dots, T$ 表示时间, $T=5$ 。

5. 数据来源

本文选取“十二五”时期中国 30 个省份的资本、劳动力和能源消耗作为投入数据。资本存量采用永续盘存法估算。期初的资本存量用 $K_{i0} = I_{i0} / (\delta + g_i)$ 表示, I_{i0} 是固定资本形成总额, δ 表示折旧率, g_i 表示各省份 1978—2012 年生产总值的平均增速;以 1978 年为基期,按公式 $K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + I_{it}$, 得到各省份资本存量数据,再调整为 2005 年不变价,具体参见张军等^[15];林伯强和孙传旺^[16]认为 2011—2015 年中国资本存量的平均增速为 14%,按照该方法计算出 2013—2015 年的资本存量。劳动力数量用各省份的期初从业人员数和期末从业人员数的平均值表示,2013—2015 年的从业人员

数则按照 0.622% 的增长速度计算得到^[2]。期望产出用生产总值表示,按照生产总值指数调整成 2005 年不变价,根据国家“十二五”规划提出的国内生产总值年均增长 7.5% 的速度,得到 2013—2015 年各省份的生产总值。2011—2012 年能源消费数据来源于历年《中国能源统计年鉴》;Wang et al.^[11]认为“十二五”时期中国的能源消耗强度将按照 16% 的速度递减,据此推算出 2013—2015 年各省份的能源消费。非期望产出用 CO₂ 排放数据表示,国家统计局未发布该数据,目前采用的方法是从能源消耗的角度来估计,具体参见李小胜和安庆贤^[7];2013—2015 年的数据参考 Wang et al.^[11]、林伯强和孙传旺^[6],根据“十二五”时期碳强度按照年均下降 3.8% 的速度外推得到。

三、实证结果分析

1. 分省份碳排放额度的空间分配结果

按照式(2)对 2011—2015 年各省份的碳排放进行重新分配,得到表 1 中的数据。为了反映重新分配后的状况,本文计算了重新分配后的碳排放与原排放之差。结果表明:①总体上,模型的估计效果较好,北京、上海和山西 3 个省份的碳排放额度 \hat{C}_n 与原碳排放 C_n 始终保持一致,表明 2011—2015 年这 3 个省份处在前沿面上,是效率最高的省份。上海和北京处在前沿面,这与多数环境效率研究文献的结论一致^[18-20],主要得益于环境控制政策、产业结构调整、技术进步和效率提升。山西省处在前沿面,可能是因为数据包络模型构造的前沿面综合考虑了投入和产出指标,杨文举^[20]的研究中也出现过经济不发达省份(青海)处在前沿面上的情况。数据包络分析处理的是多投入和多产出的情况,前沿面的构造是综合考虑各个个体的投入和产出得到的,有可能存在某个投入较少、另一个投入较多而产出仍然不变的情况,即多指标间出现了替代的情况。山西是资源型城市,能源充足,能源消耗替代了资本和劳动力,在资本和劳动力 2 项指标偏少的情况下,有可能能源投入较多,所以,仍然会有整体效率较高的情况。②发达省份中的广东、浙江、天津和江苏,由于投入产出效率高,碳排放额度都有所增加。这种分配与 Lins and Gomes^[21]提出的“零和博弈”DEA 模型思想一致,在碳排放总额固定的情况下,效率高的省份碳排放额度应该上升,效率低的省份碳排放额度应该下降,式(2)中的等式约束条件表达的正是额度重新分配后保持不变的要求。

从重新分配后的碳排放额度减去实际的碳排放数据看,不同年份各省份均有增加或减少的状况出现,除发达省份的北京和上海以及中部省份山西处在前沿面上,碳排放额度没有发生变化以外,其他发达省份的额度都出现了增加的情况,而中部省份和西部省份的额度均出现了减少。例如,发达省份天津在 2011 年应该减少碳排放额度 1575.11 万吨,后续年份碳排放额度都应该增加,说明该市碳排放效率上升,与天津类似的有江苏、安徽、福建和海南。浙江和山东情况相同,在“十二五”前期碳排放额度应该减少,后期碳排放额度应该增加。湖北、湖南和重庆在“十二五”期间碳排放的额度都应该增加。上述省份的显著特征是“十二五”前期的部分年份碳排放额度下降;相反地,在“十二五”后期碳排放额度都是增加的状态。经济发达省份之所以在“十二五”后期碳排放额度上升,与其经济发展水平密不可分。经济发展水平越高,人们对环境的重视程度越高,环境技术进步较快,环境污染投资也较高;经济发展水平较高的省份,通常第三产业比重逐渐增加,因而环境治理能力强,环境效率高,而空间分配考虑的就是效率最大化情况下各省份碳排放额度的重新分配,在这种情况下,随着发达省份的相对效率增强,其分配的碳排放额度会逐渐增加。

与上述情况相反,部分经济不发达省份在“十二五”前期的碳排放额度应该增加,但后期碳排放额度都在减少。例如,内蒙古和贵州 2011 年处在前沿面上,后续年份碳排放额度减少,辽宁和黑龙江 2011—2013 年碳排放额度应该增加,后续年份碳排放额度应该减少,河北、江西、河南、广西和陕

表 1 分省份碳排放额度的空间分配结果 单位:万吨

省份	实际碳排放					分配后的碳排放减去实际排放的差额				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
北京	12846	13048	13235	13438	13640	0	0	0	0	0
天津	20160	20301	23622	23762	23903	-1575	1676	1684	2091	3346
河北	91444	92731	98429	99716	101004	-4596	-4753	-3208	-5004	-7898
山西	73808	77071	81627	84890	88152	0	0	0	0	0
内蒙古	75423	78374	83971	86921	89872	0	-8603	-8090	-10459	-12667
辽宁	71742	74341	80199	82798	85397	6294	2172	5970	-8899	-16016
吉林	28681	28343	30941	30603	30265	-7148	-7159	6071	5625	5706
黑龙江	36677	38423	41085	42831	44578	2201	1894	2568	-1872	-4523
上海	27656	27258	29572	29174	28776	0	0	0	0	0
江苏	77266	78878	85852	87464	89075	-17757	18023	18134	16819	20166
浙江	45397	44031	46959	45593	44227	-8661	-7884	-3820	3105	4739
安徽	34068	35146	36915	37992	39070	-6941	5698	3415	3718	9396
福建	25838	25635	27893	27690	27487	-3455	3039	865	1480	1717
江西	19043	19145	21554	21655	21756	-4272	-4252	-2145	-1888	-2327
山东	114292	120302	130639	136649	142659	-16864	-18036	-15079	1519	5081
河南	66931	62618	67178	62866	58553	-9677	-6415	-5514	-5575	-1995
湖北	41002	41018	45656	45672	45687	10005	11801	13912	13736	12008
湖南	32658	32151	33831	33323	32816	16632	17817	16099	17801	13542
广东	62619	61571	67119	68098	67050	0	0	0	8455	7572
广西	21096	23169	26222	28294	30367	-3469	-5278	-3905	-6039	-9400
海南	6372	6642	7097	7367	7637	-2980	3340	4281	3780	4152
重庆	17898	17665	19147	18914	18681	8226	10264	11629	9558	8462
四川	34747	36177	37189	38619	40049	29858	28869	-5371	-5912	-8061
贵州	25647	28064	28242	30660	33077	0	-5976	-6602	-6960	-9797
云南	24674	25618	26877	27821	28765	1206	-7987	-3925	-5227	-1006
陕西	37827	43441	48774	54388	60001	-5571	-5607	-5063	-6058	-5029
甘肃	19864	20452	22201	22789	23376	3605	-6158	-6779	-6217	-6285
青海	4874	5812	5803	6741	7679	7476	-6620	-5643	-6766	-5268
宁夏	17316	18604	20620	21908	23196	1080	-5442	-5207	-4909	-1025
新疆	32640	37709	40669	45738	48906	6383	-4425	-4277	-5902	-4591

资料来源:作者利用 MATLAB 计算整理。

西在整个“十二五”时期碳排放额度都应该减少。甘肃、青海、新疆、宁夏在 2011 年应该增加碳排放,同样后续年份应该减少碳排放。这些省份多数是一些重工业省份,例如辽宁、黑龙江、甘肃、青海、宁夏等,以及一些西部和经济不发达省份,如陕西和广西等。由于产业结构重型化,污染性产业比重高,资源较为丰富,能源成本低,导致能源消耗比重大,加上经济不发达,环境控制技术相对落后,这些省份的碳排放效率相对较低,在“十二五”后期碳排放额度都较实际值小,应该减少碳排放。

按照式(2)的计算,本文得到各省份分配后的 GDP 数据 \hat{Y}_n 。根据目标函数设置,各省份的产出 \hat{Y}_n 与原产出 Y_n 之间的差距见表 2,可以看到,在 CO₂ 排放重新分配下,各省份的 GDP 有增有减,但减

少的省份并不多。广东虽然效率较高,但在2014—2015年效率不为1,根据式(2)的计算,该省要达到有效水平,GDP在2014年需要减少1900亿元(本文中的GDP数据都为2005年价),2015年需要减少422亿元;同样,四川、贵州、甘肃在部分年份出现了GDP应该减少情况;其他省份每年GDP都应该增加。上述情况说明各省份在环境约束下,产出扩大都具有一定的潜力。但研究发现,产出调整量较大的省份也是上述碳排放额度应该减少的省份,进一步说明这些省份的效率较低,在给定的投入数据和排放的弱可处置下,这些省份的产出应该尽可能扩大,否则离前沿面的距离会更远。从空间分配看,各省份的排放与原排放有一定差距,除了极个别省份的产出需要减少以外,其他省份的产出都不同程度的增加,增加的绝对量都不大,说明产出调整的空间不大,额度分配的重点是对碳排放额度进行分配。

表2 分省份 GDP 的空间分配结果 单位:亿元

	实际 GDP					分配后 GDP 减去实际 GDP 的差额				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
北京	12927	13926	14998	16093	17166	0	0	0	0	0
天津	9596	10926	12291	13520	14886	1891	2233	2311	2422	2010
河北	19369	21235	22976	24469	26211	947	1107	1086	633	1424
山西	8141	8966	9764	10243	11041	0	0	0	0	0
内蒙古	10035	11185	12192	13143	14149	0	1361	8917	13180	3430
辽宁	17368	19027	20682	21881	23537	2525	4052	5505	8365	11625
吉林	8249	9236	10003	10653	11420	5570	6362	6968	8256	9506
黑龙江	10912	12006	12967	13693	14653	108	601	1482	2687	4428
上海	17008	18276	19684	21062	22469	0	0	0	0	0
江苏	38910	42851	46965	51051	55165	5950	6641	6011	6503	7750
浙江	25635	27681	29951	32227	34497	4179	4194	3242	4840	5902
安徽	11376	12752	14079	15374	16700	2356	2565	2767	2942	5205
福建	14070	15682	17406	19130	20855	3407	3820	3639	4436	4846
江西	8468	9395	10344	11347	12296	2732	2941	2631	3207	3746
山东	37652	41327	45294	49235	53202	10360	10552	10483	6928	9959
河南	21723	23928	26081	28403	30556	14474	15907	15930	18380	21376
湖北	14375	15993	17608	19316	20931	2635	3401	4224	4630	7135
湖南	14324	15937	17547	19214	20823	2508	3758	4935	5478	8730
广东	44554	48189	52286	56364	60460	0	0	0	-1900	-422
广西	8583	9550	10524	11419	12393	5845	6997	7306	8156	9450
海南	1928	2104	2312	2509	2717	675	890	1052	1341	1572
重庆	8101	9198	10330	11456	12587	1135	855	428	410	1176
四川	16146	18172	19989	21688	23506	776	447	59	-477	123
贵州	4177	4744	5337	5913	6506	0	-784	-691	-621	-886
云南	6864	7754	8692	9396	10334	4636	5965	7337	8526	11539
陕西	8955	10107	11219	12307	13419	5698	6630	7240	7964	9624
甘肃	3699	4164	4614	5024	5474	232	-77	-161	-83	35
青海	1143	1283	1421	1552	1690	240	342	896	1418	1612
宁夏	1247	1391	1527	1649	1786	683	820	1268	1170	0
新疆	4821	5397	5991	6590	7184	346	322	1568	2010	2047

资料来源:作者利用 MATLAB 计算整理。

2. 分省份碳排放额度在计划时间内产出最大化下的分配结果

依据式(3),本文计算得到各省份重新分配后的碳排放额度与原排放之差,见表3。结果表明:北京、上海、广东和海南均处在前沿面上,重新分配后的碳排放数据与实际排放是一致的,额度不需要调整;陕西、山西、内蒙古和宁夏接近前沿面,重新计算后的碳排放与原排放相差不大。发达省份中的天津在2011、2012和2014年应该减少碳排放,其他年份应该增加排放;吉林在“十二五”前期应该减少排放,在“十二五”后期应该增加排放,与吉林类似的还有湖南;山东、浙江、江苏和重庆在

表3 分省份碳排放额度的时间分配结果 单位:万吨

省份	实际碳排放					分配后的碳排放减去实际排放的差额				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
北京	12846	13048	13235	13438	13640	0	0	0	0	0
天津	20160	20301	23622	23762	23903	-1337	-479	537	-1261	2540
河北	91444	92731	98429	99716	101004	15930	14753	13208	6753	-50644
山西	73808	77071	81627	84890	88152	-0.2500	0.4300	-0.4900	0.1900	-0.1300
内蒙古	75423	78374	83971	86921	89872	-0.3300	0.3400	-0.0800	-0.4100	0.2600
辽宁	71742	74341	80199	82798	85397	15200	2172	198	-8899	-8671
吉林	28681	28343	30941	30603	30265	-591	-504	-4411	1212	4294
黑龙江	36677	38423	41085	42831	44578	3146	1894	1568	-2085	-4523
上海	27656	27258	29572	29174	28776	0	0	0	0	0
江苏	77266	78878	85852	87464	89075	5673	5532	-11130	-16819	16744
浙江	45397	44031	46959	45593	44227	7887	-7884	-3820	1091	2724
安徽	34068	35146	36915	37992	39070	8214	-5698	-3415	-3718	4618
福建	25838	25635	27893	27690	27487	5101	-3039	135	-480	-1717
江西	19043	19145	21554	21655	21756	6578	-217	-2145	-1888	-2327
山东	114292	120302	130639	136649	142659	31023	-18036	-16917	1519	2412
河南	66931	62618	67178	62866	58553	14621	-1537	-5514	-5575	-1995
湖北	41002	41018	45656	45672	45687	10325	11801	-4465	-11816	-5845
湖南	32658	32151	33831	33323	32816	-1027	-3773	-1804	47	6557
广东	62619	61571	67119	68098	67050	0	0	0	0	0
广西	21096	23169	26222	28294	30367	8696	8925	-3905	-6039	-7677
海南	6372	6642	7097	7367	7637	0	0	0	0	0
重庆	17898	17665	19147	18914	18681	6312	-1894	-2787	-2284	651
四川	34747	36177	37189	38619	40049	15427	-4503	-4416	-5297	-1211
贵州	25647	28064	28242	30660	33077	5361	5976	10602	-2812	-19126
云南	24674	25618	26877	27821	28765	2086	1987	748	-4217	-605
陕西	37827	43441	48774	54388	60001	473.8400	0.1700	-473.8400	0.4900	-0.1700
甘肃	19864	20452	22201	22789	23376	4873	6158	6779	-5541	-12268
青海	4874	5812	5803	6741	7679	5456	-2091	-904	-1030	-1432
宁夏	17316	18604	20620	21908	23196	-0.0200	0.3100	-0.1800	0.1500	0.4700
新疆	32640	37709	40669	45738	48906	6383	8285	3173	-549	-17293

资料来源:作者利用 MATLAB 计算整理。

2012 年左右碳排放额度应该减少,其他年份碳排放额度都应该增加。可以看出按照时间分配分省份的碳排放额度同空间分配模型的结果是类似的,时间分配模型采用集中分配 DEA 模型从整个时期上对碳排放额度进行分配,某些省份在整个时间上投入产出如果变化不大,有可能导致各年的效率变化不大,这是陕西、山西、内蒙古和宁夏 4 个不发达省份碳排放额度变化不大的主要原因。而发达省份经济结构合理,环境控制技术发达,制度完善,例如涵盖了 2011 年国家发改委《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》中提到的建立碳排放市场的北京、天津、上海、重庆、广东和深圳 6 个省份,所以,这些省份环境效率较其他不发达省份高,按照效率最大化的原则,“十二五”后期或者“十三五”时期这些省份碳排放额度应该增加。

相反地,辽宁、黑龙江、贵州、甘肃、新疆和云南等不发达省份和中西部省份在 2011—2013 年应该增加排放,在 2014—2015 年应该减少排放;河北、湖北、广西和青海在 2011 年左右碳排放额度应该增加,在“十二五”后期应该减少碳排放,这类省份还有河南、四川和江西。从上面的分析可以看出,这些省份多数不发达,人口众多,经济发展水平较低,能源消费较多。低效率决定了这些省份的共同特点是“十二五”后期的排放额度出现了下降,从图 1 的拟合趋势线看,发达省份的额度在“十二五”时期变化不大,但对于一些不发达省份,额度变化的差距较大,特别是甘肃、贵州、河北、河南、辽宁和新疆下降幅度较大,充分体现出整体效率最大化分配的“奖优罚劣”的作用。

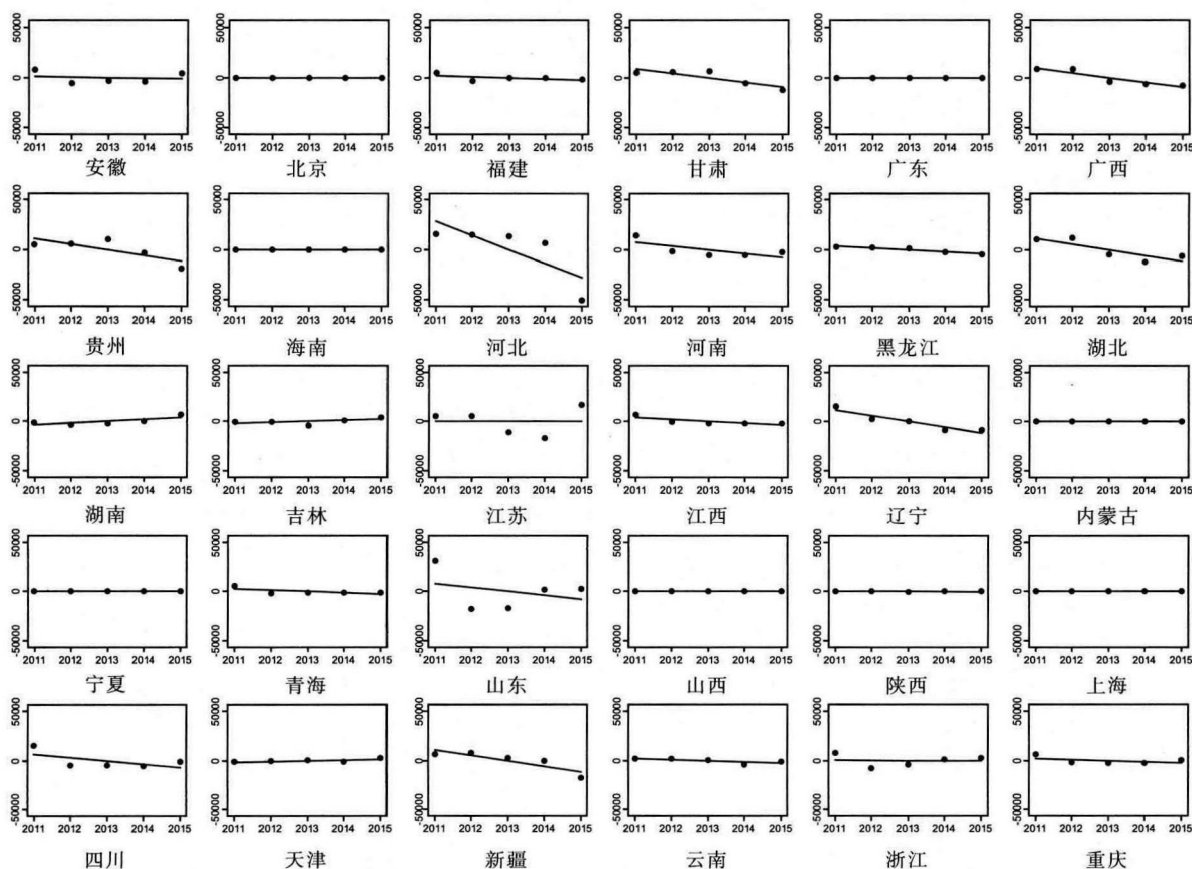


图 1 2011—2015 各省份重新分配后的碳排放与原排放之差

资料来源:作者利用 STATA 绘制。

按照各省份期望产出在计划时间内最大化分配式(3),本文计算了各省份 GDP 重新分配后的数据 \hat{Y}_n ^①。从中发现,多数省份的原始数据 Y_n 小于根据计算得到的数据 \hat{Y}_n ,但二者之间的差距并不是很大。根据式(3)的规划,从时间的角度来理解,就是各省份应该适当提高经济增长速度,差额为负的省份应适度放慢速度,以达到缓解当前环境恶化的问题,经济才能持续增长。从时间上分析,上述结果与当前“新常态”的要求在某种程度上是一致的。当前的首要任务是转变经济增长方式和调整产业结构,降低环境污染,使经济实现绿色、健康、持续发展,而不是单方面追求经济增长速度的提升。

3. 各省份间产出总和最大化的分配结果

根据式(4),计算了全部省份各年碳排放额度总和,以及 GDP 总和在时间上的最优分配结果,见表4。从各年 GDP 总和的分摊结果看,呈逐年增长,从2011年的46.15万亿元增加到2015年的78.69万亿元。虽然目前中国经济增长速度有所降低,但经济总量还在逐年增加,而且这些数值与实际的数据走势是相同的,式(4)是效率最大化模型,计算得到总的 GDP 大于实际的数据,但产出的调整幅度不大,模型结果对于期望产出的趋势判断是正确的,与目标规划的期望产出最大化要求相一致。从碳排放的额度分配情况看,2011年各省份的碳排放总和最大,后续年份变化的数值不规则,但总体上有所变小。实际上,在“十二五”后续几年,中国的碳排放将变化不大,主要是由于目前政府和公众对环境问题的重视以及认知的提高、环保意识的增强、环境控制政策的实施,以及技术进步和效率的提升,都抵消了经济增长所造成的碳排放增加的趋势。实际数据和重新分配后的数据在2011—2015年的总和是相同的,但从表4的数据看,实际碳排放数据逐年增大,重新分配后各年碳排放额的分配更加均匀,说明建立全国统一的碳排放市场对于促进经济增长、均衡分配碳排放额度有着重要的意义。

表4 2011—2015年 GDP 和碳排放额度总额分配结果

指标		年份				
		2011	2012	2013	2014	2015
实际数据	GDP(亿元)	410356	452381	495072	535919	578611
	CO ₂ (万吨)	1200507	1233737	1329115	1364372	1395701
模型估计	GDP(亿元)	461464	594687	646333	681669	786930
	CO ₂ (万吨)	1390370	1153904	1276558	1379118	1323483

资料来源:作者计算整理。

中国政府承诺在2030年后兑现碳排放绝对量的减少,根据本文考虑环境生产技术集中分配 DEA 模型的设定,期望产出和非期望产出具有联合弱可处置性,减少污染是有成本的,所以碳排放额度的减少会阻碍经济的增长。如何保证“既要金山银山,也要绿水青山”这是宏观经济决策部门面临的重要问题,意味着宏观决策者不仅要继续创造经济发展的奇迹,更要创造环境红利,实现波特效应^②。而根据集中分配 DEA 模型对“十二五”时期中国30个省份碳排放额度的重新分配显示,无论是利用空间模型还是利用时间模型的分配,我们得到的结论是重新分配后碳排放额度没有减少的情况下,经济总量都是增加的,释放出一定的经济红利。在空间分配模型下,GDP的总量分别扩张2011、2013、2015、2016、2017亿元;在时间分配模型下,GDP的总量分别扩张0、1、2、2、2亿元;在按照时间总量进行分配时,GDP扩张的比例分别为5.11、14.23、15.13、14.58、20.83万亿元。上述重新

① 由于篇幅限制,按照时间分配得到分省份 GDP 数据结果未列示,感兴趣的读者可以向作者索取。

分配后的结果进一步表明,中国二元经济特点导致省份间技术进步、技术效率、管理水平和制度建设存在着一定的差距,各省份的生产效率差异决定了不同省份间碳排放额度的重新分配会产生较大的收益。按照本文集中分配 DEA 模型能够解决各省份碳排放额度配置的非效率状态,实现经济健康发展的同时环境污染指标下降的双赢局面。按照集中分配 DEA 模型对未来碳排放交易市场额度的重新分配,是碳排放交易市场额度分配设计的重要内容,也是解决中国环境问题的重要手段之一。

四、碳排放额度分配的比较分析

上述研究是基于投入产出数据,按照效率最大化原则得到各省份碳排放额度和生产总值重新分配的结果。对于碳排放的额度分配,很多研究采用单指标来分配^[22-25],例如公平原则坚持人均排放均等分配,产出原则坚持按照产出规模分配。下面考察3种单指标方法,将其结果分别与按照效率分配原则的结果做比较。设 MQT_i 为第 i 个省份 T 期总的碳排放, $MQT(t)$ 为一国各个时期的碳排放, $POP_i(t)$ 为第 i 个省份第 t 期的总人口, QT 为 T 期一国总的碳排放, $GDP_i(t)$ 为第 i 个省份第 t 期的生产总值, α 为按照人口分配的比例, $1-\alpha$ 为按照 GDP 分配的比例。

按照人口分配原则,一个国家或省份在各个时期总的碳排放额度可以表示为:

$$MQT(t) = \frac{\sum_{i=1}^n POP_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T POP_i(t)} \cdot QT \quad (5)$$

按照 GDP 原则分配,一个国家或省份在各个时期总的碳排放额度可以表示为:

$$MQT(t) = \frac{\sum_{i=1}^n GDP_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T GDP_i(t)} \cdot QT \quad (6)$$

按照人口和 GDP 混合分配的原则^[22-24],设定 $\alpha=0.5$, 一个国家或省份在各个时期总的碳排放额度可以表示为:

$$MQT(t) = \alpha \frac{\sum_{i=1}^n POP_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T POP_i(t)} \cdot QT + (1-\alpha) \frac{\sum_{i=1}^n GDP_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T GDP_i(t)} \cdot QT \quad (7)$$

按照上述3个简单分配原则,得到计算结果,见表5。可以看出,按照人口分配原则和按照 GDP 分配的原则,各年份的碳排放是逐渐增加的,其中按照人口分配原则,各期分配的额度更加均匀,因为各年的人口变化不大。本文将两种原则进行简单加权,即由式(7)计算,其结果是介于上述2种估计值的中间值,很显然这种分配的结果没有式(4)的分配结果合理。上述分配方式明显受到人口规模和经济规模上升的影响,这也是一些国家或国际机构指责中国碳排放上升的理由,而忽视中国碳排放效率提高、碳排放强度持续降低的情况。

为了与表1和表2的结果进行比较,本文按照人均碳排放均等原则和碳排放强度原则进行混合,人均碳排放均等原则是公平原则,碳排放强度原则被认为是按照效率来分配,按照该原则,本文计算了各省份逐年碳排放额度分配,发现该结果并不理想,发达省份的碳排放额度都比实际排放要小,而且在各个省份的碳排放极不规律,效率高的省份碳排放额度小于原来的实际排放,效率低的

年份	2011	2012	2013	2014	2015
按照人口分配	1268786	1283367	1306853	1321434	1342993
按照 GDP 分配	1082752	1193638	1306281	1414059	1526703
按照混合分配	1175769	1238502	1306567	1367747	1434848

资料来源:作者计算整理。

反而大于原来的实际排放。对于一个国家内部的分配,这种方法明显不合适,一方面是对效率考虑不足,另一方面不符合实际情况,中西部省份效率低反而会增加排放,这样达不到通过硬化环境约束来促进产业结构优化升级目的。下面放弃混合原则,采用单指标效率分配原则分配各省份碳排放额度,即按照碳排放强度指标的倒数来分配额度,强度高的省份排放额度应该减少,强度低的省份额度应该增加^[22,23],可以表示为:

$$MQT_i(t) = \frac{\sum_{i=1}^n 1/CO_{2i}(t)/GDP_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T 1/CO_{2i}(t)/GDP_i(t)} \cdot QT(t) \quad (8)$$

根据式(8),得到各省份 2011—2015 年的逐年碳排放额度数据,见表 6。通过分析发现,该数据与实际排放之差出现了两类情况,一类是额度上升的省份,分别是北京、天津、上海、浙江、安徽、吉林、福建、江西、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、云南、甘肃、青海;另一类是碳排放额度较原来下降的省份,分别是江苏、黑龙江、湖北、山东、河南、河北、山西、内蒙古、辽宁、贵州、陕西、宁夏和新疆。从这两类结果可以看出,出现上升的省份多数是发达省份,包括北京、上海、天津等,但江苏和山东分配额度下降了。在集中分配 DEA 模型中,江苏和山东的碳排放额度是上升的;同样地,甘肃和青海分配的额度应该上升,但在前面按照空间和时间集中分配 DEA 模型中,这两个省份的额度都应该下降。其实这两个省份的环境效率并不高^[17-19],按照 2005 年不变价计算,对于单指标碳排放强度,甘肃和青海分别在 7 吨/万元 GDP 和 6 吨/万元 GDP 左右,仅低于宁夏,宁夏的碳排放强度在 2011—2015 年分别为 13.88、13.38、13.50、13.28、12.99 吨/万元 GDP,而同期北京的碳排放强度分别为 0.99、0.94、0.88、0.83、0.79 吨/万元 GDP。如果甘肃和青海在“十二五”时期分配额度增加,明显不符合效率排放原则,也不符合目前中国经济发展形势,所以,在判别能力方面,按照多指标效率分配的原则要好于按照单指标的分配原则,单指标方法对一个国家内的额度分配可能存在着对效率考虑不足的问题。

五、研究结论与政策含义

中国幅员辽阔,不同省份间经济发展水平、经济结构和资源禀赋存在较大差异。工业化水平、生活习惯、气候条件等导致不同省份的能源生产和能源消费有所不同,各地区二氧化碳排放量也存在较大差异^[24]。如何设计一个公平、高效的减排分配方案是涉及发展全局的重大决策问题。本文按照效率分配原则,对各省份“十二五”时期的碳排放额度进行最优分配。研究发现:①按照空间和时间上的效率分配模型,效率高省份碳排放额度应该增加,效率低的省份额度应该减少。②为了进行碳排放额度分配的比较,本文考虑了多种单指标分配原则,并将其与效率分配原则比较,发现二者结果相差较大,没有效率分配模型结果稳健,分辨能力强。③按照效率分配计算得到的各期碳排放总

表6 根据碳强度计算的重新分配数据及其与原排放之差 单位:万吨

省份	分配后得到的碳排放					分配后的碳排放减去实际排放的差额				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
北京	111134	111701	125276	127404	128130	98288	98653	112041	113966	114490
天津	52568	56328	57520	60528	63409	32408	36027	33898	36766	39506
河北	23392	23966	25804	26104	26421	-68052	-68765	-72625	-73612	-74583
山西	12180	12176	13223	12835	12752	-61628	-64895	-68404	-72055	-75400
内蒙古	14693	14937	16050	16085	16030	-60730	-63437	-67921	-70836	-73842
辽宁	26735	26786	28507	28113	28062	-45007	-47555	-51692	-54685	-57335
吉林	31762	34106	35738	37031	38417	3081	5763	4797	6428	8152
黑龙江	32856	32704	34889	34009	33469	-3821	-5719	-6196	-8822	-11109
上海	67915	70175	73582	76799	79500	40259	42917	44010	47625	50724
江苏	55613	56858	60474	62092	63055	-21653	-22020	-25378	-25372	-26020
浙江	62362	65797	70507	75194	79417	16965	21766	23548	29601	35190
安徽	36876	37975	42160	43047	43520	2808	2829	5245	5055	4450
福建	60139	64022	68985	73493	77248	34301	38387	41092	45803	49761
江西	49106	51361	53052	55743	57544	30063	32216	31498	34088	35788
山东	36381	35954	38327	38329	37971	-77911	-84348	-92312	-98320	-104688
河南	35843	39994	42918	48062	53133	-31088	-22624	-24260	-14804	-5420
湖北	38719	40807	42633	44991	46646	-2283	-211	-3023	-681	959
湖南	48438	51880	57336	61337	64607	15780	19729	23505	28014	31791
广东	78576	81915	86115	88049	91809	15957	20344	18996	19951	24759
广西	44933	43141	44367	42931	41551	23837	19972	18145	14637	11184
海南	33412	33153	36013	36225	36223	27040	26511	28916	28858	28586
重庆	49984	54499	59640	64433	68605	32086	36834	40493	45519	49924
四川	51316	52572	59418	59742	59757	16569	16395	22229	21123	19708
贵州	17985	17690	20888	20516	20026	-7662	-10374	-7354	-10144	-13051
云南	30722	31677	35749	35927	36578	6048	6059	8872	8106	7813
陕西	26144	24350	25427	24072	22770	-11683	-19091	-23347	-30316	-37231
甘肃	20567	21309	22974	23455	23843	703	857	773	666	467
青海	25889	23097	27072	24490	22414	21015	17285	21269	17749	14735
宁夏	7955	7825	8187	8009	7838	-9361	-10779	-12433	-13899	-15358
新疆	16311	14980	16285	15328	14956	-16329	-22729	-24384	-30410	-33950

资料来源:作者计算整理。

额也较单指标分配结果更加平滑,与目前中国环境控制的现实更加符合。本文的研究发现对于中国未来碳排放交易市场的初始额度分配具有一定的政策启示:

(1)“十三五”时期或更长时期对于中国碳排放交易市场的初始额度分配,应该按照效率原则分配。碳排放是一种稀缺资源,国际社会一直对中国碳排放总额提出严格的要求,如何在总额固定的情况下分配各省份的碳排放初始额度是个十分重要的问题。效率分配能够在保持经济健康成长的

情况下起到了奖惩分明的作用,因此,对于中国未来的碳排放市场初始额度分配,应该按照效率优先的原则进行分配,逼迫效率低的省份改变经济增长方式,促进产业结构转型升级,走可持续发展的道路。

(2)国家应该通过宏观政策协调区域间平衡发展,保障碳排放市场平稳运行,促进和落实碳减排工作。中国政府承诺到2020年单位GDP排放强度在2005年的基础上降低40%—50%,任务十分艰巨。效率分配表明发达省份碳排放额度应该增加,经济落后省份的碳排放额度应该减少;对于经济落后的省份,额度减少的同时会进一步限制这些省份的经济发展,影响其参与碳排放市场的积极性。为了保障碳排放市场平稳运行,国家宏观政策应该协调各省份间的发展,在按照效率分配的同时,应充分考虑各省份之间的经济差异,采取适度的激励和补偿措施,鼓励各省份间的碳排放交易,同时要求发达省份对经济落后省份适当给予资金、技术和人才支持,提高其能源利用效率;落后省份应该加快经济结构调整,加大资金投入,引进清洁能源生产技术,淘汰落后产能,改善碳排放效率。只有通过上述努力,在全国统一碳排放市场建立时,才能避免不发达省份落入“贫困的陷阱”,实现减排目标。

(3)节能减排是一项长期而艰巨的工作,政府应该具有全局视野。按照空间和时间模型计算得到的各省份的产出扩张比例不大,有些省份的产出甚至要调低。这说明按照效率分配的同时,应该从长远利益出发,不能仅仅局限于当前的效率最大化。未来,中国碳排放市场初始额度的分配,既要考虑“十三五”时期各省份经济增长与碳排放的关系,更要考虑未来的经济增长和环境污染指标之间的协调关系。

[参考文献]

- [1]Bohm, P., and B. Larsen. Fairness in a Tradeable Permit Treaty for Carbon Emissions Reductions in Europe and the Former Soviet Union[J]. *Environmental and Resource Economics*, 1994,4(3):219-239.
- [2]Kverndokk, S. Tradable CO₂ Emission Permits: Initial Distribution as a Justice Problem [J]. *Environmental Values*, 1995,4(2):129-148.
- [3]Janssen, M., and J. Rotmans. Allocation of Fossil CO₂ Emission Rights Quantifying Cultural Perspectives[J]. *Ecological Economics*, 1995,13(1):65-79.
- [4]Cramton, P., and S. Kerr. Tradeable Carbon Permit Auctions: How and Why to Auction Not Grandfather[J]. *Energy Policy*, 2002,30(4):333-345.
- [5]丁仲礼. 应基于未来排放配额来分配各国碳排放权[J]. *群言*, 2010,(4):20-23.
- [6]Mackenzie, I. A., N. Hanley, and T. Kornienko. The Optimal Initial Allocation of Pollution Permits: A Relative Performance Approach[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2008,39(3):265-282.
- [7]原毅军. *环境经济学*[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [8]Ellerman, A. D. A Note on Tradeable Permits[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2005,31(2):123-131.
- [9]Lozano, S., G. Villa, and R. Brännlund. Centralised Reallocation of Emission Permits Using DEA [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009,193(3):752-760.
- [10]Feng, C. P., F. Chu, and J. Ding. Carbon Emissions Abatement (CEA) Allocation and Compensation Schemes Based on DEA[J]. *Omega*, 2014,(53):78-89.
- [11]Wang, K., X. Zhang, and Y. M. Wei. Regional Allocation of CO₂ Emissions Allowance over Provinces in China by 2020[J]. *Energy Policy*, 2013,(54):214-229.
- [12]苗壮,周鹏,王宇,孙作人. 节能、“减霾”与大气污染物排放权分配[J]. *中国工业经济*, 2013,(6):31-43.
- [13]Färe, R., S. Grosskopf, and C. A. Pasurka. Pollution Abatement Activities and Traditional Productivity[J]. *Ecological Economics*, 2007,(3):673-682.

- [14] Zhou, P., Z. R. Sun, and D. Q. Zhou. Optimal Path for Controlling CO₂ Emissions in China: A Perspective of Efficiency Analysis[J]. *Energy Economics*, 2014, (45):99-110.
- [15] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2004, (10): 35-44.
- [16] 林伯强, 孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. *中国社会科学*, 2011, (1):64-76.
- [17] 李小红, 安庆贤. 环境管制成本与环境全要素生产率研究[J]. *世界经济*, 2012, (12):18-40.
- [18] 胡鞍钢, 郑京海, 高宇宁, 张宁, 许海萍. 考虑环境因素的省级技术效率排名: 1999—2005[J]. *经济学(季刊)*, 2008, (3):933-960.
- [19] 王群伟, 周鹏, 周德群. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素[J]. *中国工业经济*, 2010, (1): 45-54.
- [20] 杨文举. 中国省份工业的环境绩效影响因素——基于跨期 DEA-Tobit 模型的经验分析[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2015, (3):40-48.
- [21] Lins, M. P. E. and E. G. Gomes. Olympic Ranking Based on a Zero Sum Gains DEA Model [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 148(2):312-322.
- [22] 何建坤, 陈文颖, 滕飞, 刘滨. 全球长期减排目标与碳排放权分配原则[J]. *气候变化研究进展*, 2009, (6):362-368.
- [23] 陈文颖, 吴宗鑫. 碳排放权分配与碳排放权交易[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 1998, (12):15-18.
- [24] 王铮. 中国碳排放控制策略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [25] 王文举, 李峰. 我国统一碳市场中的省际间配额分配问题研究[J]. *求是学刊*, 2015, (3):44-51.

Regional Allocation of CO₂ Emissions Allowance during the “Twelfth Five-Year Plan” in China—From the Perspective of Efficiency Comparative Analysis

LI Xiao-sheng, SONG Ma-lin

(Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China)

Abstract: As an important policy tool to reduce carbon emissions, the emissions trading system faces its challenges in the allocation of initial emission rights. The important issue of allocating the initial allowances to achieve the maximized efficiency of the country hasn't received sufficient attention, which need to be solved. This paper studies the allocation of initial emission rights among 30 regions with the “Twelfth Five-Year Plan” period data, and the centralized DEA model has been adopted. The results show that the carbon allowances for low efficiency provinces are less than their actual emissions, which should be reduced. To the contrary, the provinces with high efficiency could increase their emissions. Among others, Beijing, Shanghai and Shanxi are on the frontier, thus their carbon allowances should keep unchanged, whereas the rest of the developed provinces' should increase their carbon allowances, although the carbon allowances for the central and west region should be reduced. If the emissions allowances are allocated from the perspective of output maximization, the underdeveloped areas should reduce their emissions, whereas the developed areas could increase their emissions, and most provinces will experience moderately economic recession. This paper also uses the single index such as fairness and efficiency to allocate the emission allowance, and we find that the results of single index allocation is similar to those for the centralized DEA model, while the former lacks of separating capacity. Overall, the method proposed in this paper will be useful to guide the initial allowances allocation for the emission trading system designing in China.

Key Words: CO₂ emissions; centralized DEA; efficiency allocation; fairness allocation

JEL Classification: Q56 Q43 C61

[责任编辑: 覃毅]