

# 中国省际碳全要素生产率增长及收敛性

李强, 冯波

(中国矿业大学 管理学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 将碳排放作为生产过程的“坏产出”,通过构建基于序列的 Malmquist-Luenberger(SML)指数模型,测算1998—2010年中国省际碳全要素生产率,运用核密度估计法对全国总体及东部地区、中部地区、西部地区三大区域进行收敛性检验。结果显示:样本期内中国碳全要素生产率年均增长率仅为0.9%,且主要是由技术进步推动,技术效率在大多数年份都处于恶化的状态;东部地区碳全要素生产率增长最快,西部地区最慢,中部地区介于二者之间;全国碳全要素生产率及其分解存在明显的发散性,东部地区和西部地区在技术效率方面呈现“俱乐部收敛”。

**关键词:** 全要素生产率; 碳排放; 收敛性分析

**中图分类号:** F062.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3370(2014)03-0014-08

近年来,全球CO<sub>2</sub>过量排放已经引发了一系列严重的环境问题,如气候变暖、海平面上升和沙漠化等,碳减排已经成为国际社会共同关注的焦点。中国在哥本哈根会议上承诺到2020年单位GDP CO<sub>2</sub>排放相对2005年降低40%~45%,碳减排已成为中国各级政府推动经济转型的内在需求。在发展低碳经济、建设生态文明的大背景下,将碳排放纳入到全要素生产率(TFP)分析框架下是一种必然选择。

碳全要素生产率提出了全新的衡量经济绩效高低的标准,既要求要素投入少、经济产出高,也要求碳排放量少。本文研究中国省际碳全要素生产率增长及收敛性问题,有助于在碳排放约束下更加客观地评价中国各省经济增长的质量,真实反映发展过程中的资源消耗和碳排放情况,为各省有针对性地制定低碳增长政策提供参考。

## 一、文献综述

中国经济增长源泉问题一直是学术界的热点话题。Chow(1993)<sup>[1]</sup>指出,改革开放前的中国TFP变化很小,对经济增长贡献有限,改革开放之后则以年均2.7%的速度增长。此后,众多文献对中国整体、地区以及行业层面的全要素生产率进行了测算。张军(2003)<sup>[2]</sup>针对1952—1998年中国经济数据的分析发现,在改革前,中国经济的TFP波动很大,1978年的TFP水平与1952年相比甚至是退步的,但是在改革后,中国经济的TFP有了明显的提高。OECD

(2005)<sup>[3]</sup>采用索罗余值法计算得到,1978—2003年中国的TFP增长率为3.7%,但是自从1993年以后TFP增长率一直降低,中国经济越来越多地依赖于投入的增长。涂正革(2007)<sup>[4]</sup>基于数据包络分析(DEA)方法的研究结果表明,1995—2004年TFP对中国工业经济增长的贡献高达60%。Perkins(2008)<sup>[5]</sup>发现,1978—2005年中国TFP的年均增长速度为3.8%,几乎为该阶段中国GDP增长率的1/3。上述文献对中国TFP的测算为后续研究提供了很好的借鉴,但由于只考虑正常的经济产出,忽视了与之相伴随的环境污染非期望产出,在一定程度上影响了测度结果的准确性。

在此基础上,一些学者重新估算了考虑环境因素的中国TFP增长。吴军(2009)<sup>[6]</sup>、王兵(2010)<sup>[7]</sup>、董敏杰(2012)<sup>[8]</sup>分别将化学需氧量(COD)和SO<sub>2</sub>排放作为非期望产出,分析了环境约束下的中国工业或地区全要素生产率增长,吴军(2009)认为,东部和西部地区工业TFP存在俱乐部收敛,中部地区仅存在条件收敛;胡晓珍(2011)<sup>[9]</sup>发现,中国绿色Malmquist指数整体上不存在绝对收敛,只有东部地区呈现较典型的俱乐部收敛。与此同时,在日益严峻的碳排放形势下,学者们开始重视碳全要素生产率问题。孙传旺(2010)<sup>[10]</sup>指出,碳全要素生产率不仅能体现生产率对经济增长的贡献,而且能反映经济发展对碳排放的影响,减小由于忽视碳排放而引起的对社会效率水平变化评价的扭曲,收敛性分析表

收稿日期: 2013-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71103181); 教育部人文社科基金资助项目(13YJC790151); 全国统计科研计划重点项目(2010LB10); 江苏省社科基金资助项目(12EYB007, 13EYC021); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013XK11)

作者简介: 李强(1980—),男,副教授,博士,E-mail: kdliqiang@163.com

明西部地区碳排放强度约束下的 TFP 不存在追赶发达地区的趋势; Fujii (2010)<sup>[11]</sup>将 CO<sub>2</sub> 和废水排放作为“坏产出”, 构建多投入、多产出模型测算了中国钢铁行业 20 世纪 90 年代的环境生产率; 赵成柏 (2011)<sup>[12]</sup>估计了在碳排放约束和传统情形下中国 1995—2007 年全要素生产率指数, 结果表明, 中国全要素生产率增长水平不断提高, 但在碳排放约束情况下不及传统全要素生产率高; 匡远凤 (2012)<sup>[13]</sup>将 CO<sub>2</sub> 排放作为一种未支付的投入, 运用广义 Malmquist 指数与随机前沿函数模型相结合的方法, 分析了中国环境全要素生产率的变动情况; 周五七 (2012)<sup>[14]</sup>研究发现, 1998—2010 年中国工业行业碳全要素生产率经历了一个先上升、后下降、再上升的演化轨迹, 且行业间差距有扩大趋势; Zhang (2013)<sup>[15]</sup>将能源消费作为投入要素, 综合考虑经济产出和 CO<sub>2</sub> “坏产出”, 运用 PDA (Production-theoretical Decomposition) 方法对中国 2006—2010 年碳排放变动进行分解。

总体而言, 学者们对于碳全要素生产率进行了一定的探索, 并已取得有价值的成果。但现有文献测度碳全要素生产率主要是基于 Malmquist-Luenberger 模型 (ML), 该模型仅以当期的观测值来构造最佳生产前沿, 在计算过程中经常会存在“技术倒退”的现象, 这与经济增长的现实情况相违背。此外, 鲜有研究采用核密度估计法对中国碳全要素生产率的收敛性情况进行深入分析。核密度估计法是分布动态法的一种, 它可以直观地表现省际碳全要素生产率分布的形状以及动态演变进程, 相对于其他需要固定函数形式概括性的统计方法, 基于核密度估计的非参数方法在分析省际碳全要素生产率收敛性方面具有一定优越性。因此, 本文尝试对碳全要素生产率研究进行拓展: (1) 将 CO<sub>2</sub> 排放量作为非期望产出, 并将能源作为投入要素纳入到全要素生产率的测度模型中, 构建基于序列的 Malmquist-Luenberger 指数模型 (SML), 计算 1998—2010 年中国省际碳全要素生产率指数, 并将其分解为碳技术进步指数和碳技术效率变化指数。SML 指数法所构建的生产前沿面不仅包含当期的观测值, 还包含前期所有观测值, 能够避免动态经济分析中出现“技术倒退”问题。(2) 分别计算样本期内累积碳全要素生产率指数、累积碳技术进步指数和累积碳技术效率指数, 并利用二维 Epanechnikov 核密度法分析省际及东部地区、中部地区、西部地区三大区域碳全要素生产率及其分解的动态演变进程, 考察各省份间以及各区域碳全要素生产率的

相对差异。

## 二、碳全要素生产率测度模型

传统 DEA 模型将产出默认为越大越好, 但产出有“好”有“坏”, 碳排放这类“坏”产出应该越小越好。因此, 传统的基于产出距离函数所构建的 Malmquist 指数并不适用于解决存在非期望产出的情形。本文借鉴 Fare (2007)<sup>[16]</sup>, 采用环境技术、方向性距离函数以及 SML 指数模型对中国省际碳全要素生产率进行测度。

环境技术是指“好产出”和“坏产出”与投入三者之间的技术结构关系, 可表示为如下的生产可能集合

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ 能生产 } (y, b)\}, x \in R_+^N \quad (1)$$

其中,  $P(x)$  为投入  $x \in R_+^N$  所能生产的“好产出” $y \in R_+^N$  和“坏产出” $b \in R_+^N$  的所有可能性集合。环境技术需要满足以下条件: (1) 产出是联合弱可处置的, 即“坏产出”和“好产出”是同增同减的, 生产可能性边界具有凸性。(2) “好产出”和“坏产出”是“零和的”, 该假设保证了生产可能性边界经过原点。(3) 投入要素  $x$  和“好产出”是强可处置的, 此假设说明在投入和“坏产出”相同的情况下, “好产出”可多可少, 此处“好产出”的差距, 恰好反映了碳排放约束下不同决策单元生产率水平的高低。

环境技术所构建的产出前沿是确定环境效率的前提, 在此基础上结合方向性距离函数可以计算具体的环境效率。根据 Luenberger (1995)<sup>[17]</sup>短缺函数的思想, 构造基于产出的方向性环境产出距离函数, 其具体形式为

$$D_t(x^t, y^t, b^t; g_y, -g_b) = \sup\{\beta : (y^t + \beta g_y, b^t - \beta g_b) \in P^t(x^t)\} \quad (2)$$

其中,  $g = (g_y, -g_b)$  是方向向量, 它表示公众对“好产出”和“坏产出”进行取舍的不同效用偏好。假定  $g = (y, -b)$ , 这表示在给定投入  $x$  的情况下, “好产出” $y$  与“坏产出” $b$  成比例地扩大或成比例地收缩,  $\beta$  就是变化的最大可能数量。

环境技术效率反映的是决策单元向最优前沿技术逼近的程度, 可以用一个 0~1 之间的指数来度量, 即

$$ETE_k^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t; y_k^t, -b_k^t) = \frac{1}{1 + D_k^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t; y_k^t, -b_k^t)} \quad (3)$$

其中,  $D_k^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t; y_k^t, -b_k^t)$  表示方向性距离函数的值。当方向性距离函数的值为 0 时, 环境技术效率为 1, 此时表示生产处于前沿面上, 效率最佳; 当方

向性距离函数的值大于0时,表明生产位于前沿面内部,技术无效率,即在给定的资源投入下,其实际“好产出”与最大可能的“好产出”、实际“坏产出”与最小可能的“坏产出”之间存在一定距离。

为克服动态经济分析中的“技术被遗忘”缺陷,参考 Donghyun 和 Almas(2010)<sup>[18]</sup>观点,本文基于序列 DEA,构建既包含当期观测值,又包含前期所有观测值的生产前沿。第  $t$  期的生产可能集为

$$P^t(x^t)=P^1(x^1)\cup P^2(x^2)\cup P^3(x^3)\cdots\cup P^t(x^t), \quad 1\leq t\leq T \quad (4)$$

关于生产率指数的表述,借鉴 Chung(1997)<sup>[19]</sup>的论述,从  $t$  到  $t+1$  时刻考虑碳排放因素的 SML 指数可以表示为

$$SML_t^{t+1}=\left[\frac{1+D^t(x^t,y^t,b^t;y^t,-b^t)}{1+D^t(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1};y^{t+1},-b^{t+1})}\times\frac{1+D^{t+1}(x^t,y^t,b^t;y^t,-b^t)}{1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1};y^{t+1},-b^{t+1})}\right]^{1/2} \quad (5)$$

SML 指数可进一步分解为碳技术效率改进指数(SEC)和碳技术进步指数(STC)两个部分,即

$$SML_t^{t+1}=\text{SEC}_t^{t+1}\times\text{STC}_t^{t+1} \quad (6)$$

其中

$$\text{SEC}_t^{t+1}=\frac{1+D^t(x^t,y^t,b^t;y^t,-b^t)}{1+D^t(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1};y^{t+1},-b^{t+1})} \quad (7)$$

$$\text{STC}_t^{t+1}=\left[\frac{1+1+D^{t+1}(x^t,y^t,b^t;y^t,-b^t)}{1+D^t(x^t,y^t,b^t;y^t,-b^t)}\times\frac{1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1};y^{t+1},-b^{t+1})}{1+D^t(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1};y^{t+1},-b^{t+1})}\right]^{1/2} \quad (8)$$

碳技术效率改进指数 SEC 衡量技术落后者向技术先进者追赶的速度,即决策单元向技术前沿面移动的速度;碳技术进步指数 STC 衡量技术前沿的进步速度,即技术前沿面本身向外延伸的速度,两者单独作用或者共同作用均会引发生产率的改变。SML、SEC 和 STC 大于(小于)1 分别表示碳全要素生产率增长(下降)、碳技术效率改善(恶化)和碳前沿技术进步(退步)。

### 三、数据来源与变量定义

本文以中国 30 个省份 1998—2010 年间的的生产数据为观测样本<sup>①</sup>。所有的数据均来源于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及资讯行数据库。所涉及的投入产出变量定义如下所述。

#### (一)投入指标

投入指标主要包含 3 类:(1)资本(K)。采用各省份资本存量的数据代表资本投入,而现有的统计资料并未直接公布此数据。1998 年资本存量参考张

军(2004)<sup>[20]</sup>的估算结果,其余年份以此为基础采用永续盘存法估算得到,其中固定资本形成总额采用各省份固定资产投资价格指数进行平减,资本的经济折旧率为 9.6%,并按 2000 年的不变价进行换算。

(2)劳动力(L)。采用各省份年末从业人数来表示,其中 2006 年的数据并未公布,采用 2005 年和 2007 年的平均数代替。(3)能源(E)。能源短缺已经成为制约中国经济发展的关键因素,能源数据采用各省份“能源消费总量”表示,均利折算成标准煤。

#### (二)产出指标

产出指标主要包含 2 类:(1)“好产出”(Y),采用各省份国内生产总值来表示,并且为了与资本投入数据保持一致,同样按 2000 年不变价格进行换算。(2)“坏产出”(C),采用 CO<sub>2</sub> 排放量表示。由于 CO<sub>2</sub> 排放量的数据并不能从统计资料中直接获得,采用对数均值迪氏分解法(LMDI)对其进行估算,碳排放量的计算公式如下

$$C=\sum_{i=1}^n C_i=\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E} * \frac{C_i}{E_i} * E=\sum_{i=1}^n R_i * X_i * E \quad (9)$$

其中,C 为各省份 CO<sub>2</sub> 排放总量;R<sub>i</sub> 代表各省份第 i 种能源消费在总能源消费中所占的比重;X<sub>i</sub> 代表第 i 种能源的碳排放系数,来源于国家发改委能源研究所 2003 年出版的《中国可持续发展能源暨碳排放情景分析》;E 为各省份的能源消费总量。

### 四、中国省际碳全要素生产率的测度结果

本文分别计算了考虑碳排放和未考虑碳排放两种情景下中国省际全要素生产率指数及其分解的值。具体结果如表 1 和表 2 所示。

#### (一)省际碳全要素生产率及其分解测度结果

如表 1 所示,基于 SML 指数计算的全国 1998—2010 年的碳全要素生产率指数平均值为 1.009,即碳全要素生产率的年均增长率为 0.9%,而基于产出距离函数所计算的传统全要素生产率指数平均值为 1.004,即年均增长率为 0.4%。这一方面说明全要素生产率对中国经济增长起了推动作用,但是贡献度有限;另一方面从两种方法下的数据比较来看,中国资源节约利用和环境保护在样本期内已经取得了一定的成就,碳全要素生产率增长速度要大于传统全要素生产率。从变动趋势来看,样本期前半段时间内,考虑能源投入和碳排放的全要素生产率要低于未考虑的情景,而在样本期后半段时间内,结果正好相反。这可能是由于东南亚金融危机之后,中国新一轮的经济快速增长是以

<sup>①</sup>由于西藏自治区许多年份能源与环境的数据缺失,样本不包含西藏自治区。

大量资源投入和污染排放为代价的,自2001年起碳全要素生产率要远低于传统意义上的全要素生产率,但是从2005年之后,国家相继出台了一系列加强环境保护的政策措施,环境治理方面的投入迅速增加,粗放式的经济增长方式有所改变,“十一五”期间碳全要素生产率开始较快增长,大幅度赶超传统意义的全要素生产率,并呈现出较好的发展趋势。

对于全要素生产率的推动因素,两种情景下技术进步的推动作用都要远远大于技术效率提高的贡献,而且绝大多数年份技术效率并未改善,说明技术进步对提高全要素生产率起到了重要作用。1998—2010年两种情景下的技术进步年均增长率分别为1.5%和0.9%,而技术效率的年均增长率均为负值,分别下降了0.6%和0.5%。

具体到各省的情况:(1)1998—2010年,在考虑能源投入与碳排放的情景下,有18个省份全要素生产率存在增长的情况,其中,上海、广东、北京、天津和黑龙江增长速度最快,年均增长率分别是15.5%、9.7%、3.1%、2.4%和2.2%,而根据传统的测度方法,有20个省份全要素生产率存在增长的情况,其中,

上海、天津、黑龙江、海南和江苏增长速度最快,年均增长率分别是4.8%、2.4%、2.2%、2.1%和1.7%。无论基于何种模型,大多数省份全要素生产率均存在增长的情况,但是从具体的数值看,考虑能源与碳排放情景下的全要素生产率要远远大于传统模型计算得到的结果,这说明能源效率的提高和环境改善对全要素生产率的促进作用在大多数省份,特别是东部地区省份表现非常明显。(2)两种情景下,除了新疆,年均技术进步率比较大的省份主要分布于东部地区,东部地区仍然担当着技术“创新者”的角色。究其原因,东部地区凭借其较完善的基础设施和较强的教育文化实力,吸引了大批高层次人才与资源聚集,技术创新能力显著高于其他地区。(3)从技术效率的增长率来看,往往技术效率较低的省份其增长率反而高,而技术效率较高的省份却会出现技术效率增长率较慢的情况,这是因为相对而言技术效率较低的省份存在的“追赶”空间较大,就可能表现出技术效率的逐年增加。但也有例外,两种情景下宁夏的技术效率均较低,且存在技术效率下降的趋势,这说明落后省份的“追赶”效应也不是绝对的,个体性差异是不可忽视的<sup>①</sup>。

表1 两种情景下全要素生产率及其分解的比较

项目		1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
全要素生产率 指数	情景1	—	1.000	1.013	1.014	1.012	1.012	1.015
	情景2	—	1.009	1.014	1.008	1.002	1.001	1.015
技术效率改善	情景1	—	0.992	1.000	1.001	0.995	0.999	1.011
	情景2	—	0.998	1.001	0.993	0.987	0.989	1.001
技术进步指数	情景1	—	1.008	1.013	1.012	1.017	1.013	1.004
	情景2	—	1.012	1.013	1.015	1.016	1.013	1.014
项目		2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均值
全要素生产率 指数	情景1	1.002	1.005	1.008	0.989	0.979	0.996	1.004
	情景2	1.001	1.012	1.020	1.004	1.003	1.019	1.009
技术效率改善	情景1	1.001	0.992	0.997	0.983	0.977	0.992	0.995
	情景2	0.998	0.995	0.998	0.990	0.985	0.996	0.994
技术进步指数	情景1	1.002	1.013	1.012	1.006	1.001	1.004	1.009
	情景2	1.003	1.018	1.022	1.015	1.019	1.023	1.015

注:情景1:仅考虑资本和劳动力投入以及“好产出”,利用产出距离函数,基于序列的Malmquist指数方法测算全要素生产率及其分解;情景2:同时考虑资本、劳动力和能源投入以及“好产出”和碳排放“坏产出”,利用方向性距离函数,基于SML指数方法测算碳全要素生产率及其分解。

## (二)省际碳技术效率值的测度结果

表2给出的是两种情景下分别基于规模收益不变(CRS)假设和规模收益可变(VRS)假设,计算得到的各省各年份碳技术效率值。结果显示:(1)在规模收益不变假设下,两种情景下的技术效率值分别为0.721和0.749;在规模收益可变假设下,两种

情景下的技术效率值分别为0.789和0.814,说明中国总体碳技术效率水平还有很大提升空间。(2)无论是各年份还是总体平均值,规模收益可变假设下的碳技术效率值总是大于规模收益不变假设下的值,显示出规模效率在中国碳技术效率水平提高方面起到了积极的作用。(3)具体到各省,在规模报酬不变假设

<sup>①</sup>受限于篇幅,各省份碳全要素生产率的计算结果并未列出,若需要可向作者索取。

下,上海始终处于前沿面上,同样表现出色的还有福建(1.000)、广东(0.999)、辽宁(0.962)、江苏(0.944)、湖北(0.944),这些省份的技术效率平均值等于1或者接近于1,而且广东、辽宁、江苏近几年的技术效率有很好的改善,2010年均处于前沿面上。在规模报酬可变化假设下,福建、广东、上海均处于前沿面上,技术效率

平均值为1,海南(0.991)、江苏(0.985)和天津(0.995)也基本接近前沿面,而且2005—2010年的技术效率值均大于1998—2004年,这说明规模经济近些年在这些省份有较好的表现,产业规模由小到大、产业结构由低级向高级、产业间联系由松散向紧密的逐渐演化提升了省际的资源配置效率。

表2 规模收益不变假设和规模收益可变假设下省际碳技术效率值的比较

项目		1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
碳技术效率平均值(CRS)	情景1	0.734	0.727	0.728	0.729	0.725	0.724	0.732
	情景2	0.772	0.770	0.771	0.766	0.756	0.747	0.748
碳技术效率平均值(VRS)	情景1	0.822	0.809	0.808	0.807	0.800	0.796	0.797
	情景2	0.855	0.848	0.848	0.841	0.828	0.816	0.813
项目		2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	平均值
碳技术效率平均值(CRS)	情景1	0.733	0.727	0.724	0.712	0.696	0.690	0.721
	情景2	0.746	0.743	0.741	0.733	0.722	0.719	0.749
碳技术效率平均值(VRS)	情景1	0.795	0.785	0.780	0.766	0.751	0.743	0.789
	情景2	0.808	0.801	0.797	0.788	0.775	0.771	0.814

## 五、中国碳全要素生产率的收敛性分析

采用核密度估计法(Kernel density estimation)考察中国省际碳全要素生产率的收敛性。一般而言,对于一组随机变量 $\{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ ,固定带宽的核密度估计函数如下

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left[\frac{x-x_i}{h}\right] \quad (10)$$

其中, $h$ 表示带宽或者光滑系数, $h$ 值越大,光滑度越大; $K$ 表示核函数或者权重,它根据 $x_i$ 距离 $x$ 的远近来设定观测值 $x_i$ 权重的大小,一般来讲,距离越近权重越大。借鉴Sain(1996)<sup>[21]</sup>,选用二维Epanechnikov核函数和Silverman最佳带宽。

### (一)计算各年碳全要素生产率水平及其分解

上文计算得到的碳全要素生产率指数、碳技术进步

指数都是相对数,要想采用核密度估计法考察其收敛的动态性和长期趋势,还需计算出上述指标的绝对数,本文将其称为碳全要素生产率水平、碳技术进步水平<sup>①</sup>。各省1999年的碳全要素生产率水平和碳技术进步水平可通过基期1998年的值<sup>②</sup>乘以1998—1999年度增长指数计算得到,依次类推,具体计算方法见式(11): $R1_k$ 为累积碳全要素生产率指数; $R2_k$ 为累积碳技术进步指数;碳技术效率水平可以直接通过方向性距离函数值计算获得,用 $R3_k$ 表示。

$$R1_{kT} = ETE_k^{1998*} \prod_{t=1999}^T SML_k^t; R2_{kT} = ETE_k^{1998*} \prod_{t=1999}^T STC_k^t \quad (11)$$

其中, $ETE_k^{1998}$ 为 $k$ 省1998年的技术效率值; $SML_k^t$ 、 $STC_k^t$ 分别表示第 $t$ 年 $k$ 省的碳全要素生产率指数和碳技术进步指数。表3为1998—2010年 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 值的描述性统计。

表3 1998—2010年 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 值的描述性统计

指标	省份数	期数	均值	标准差	最大值	最小值
碳全要素生产率水平	30	12	0.882	0.497	5.609	0.414
碳技术进步水平	30	12	0.905	0.488	5.609	0.472
碳技术效率水平	30	13	0.767	0.163	1.000	0.374

注:由于 $R1$ 、 $R2$ 分别是通过碳全要素生产率指数和碳技术进步指数计算得到,因此只有12年的数据。

### (二)省际碳全要素生产率水平及其分解的收敛性检验

1999年、2004年和2010年3个时期省际碳全要素生产率及其分解的核密度分布,如图1所示。

#### 1. 样本期间内无论是碳全要素生产率、碳技术

进步还是碳技术效率,其核密度分布图的水平位置基本未变,这说明中国省际碳全要素生产率及其分解从总体上看并不存在明显的增长,但是2004年和2010年的碳全要素生产率和碳技术进步核密度估计曲线开始出现不断强化的右偏分布态势,说明

①本文所得到的碳技术效率值就是各省各年份碳技术效率水平,因此可以通过方向性距离函数值计算获得。

②本文用各省1998年的技术效率值近似代替其1998年的碳全要素生产率水平和碳技术进步水平。

有部分省份这两个指标出现大幅度增长,这与前文的研究一致。

2.从垂直位置可以看出,样本期内3个指标的核密度曲线高度均逐年降低,说明省际碳全要素生产率及其分解的差异越来越大,存在明显的发散趋势。

3.从形状来看,样本期内中国省际碳全要素生

产率和碳技术进步的核密度曲线形状基本未变,而碳技术效率逐渐出现“双峰”现象,这说明各省份的碳技术效率虽然在总体上存在发散趋势,但在“追赶”过程中形成了两个“群体”,可以初步判断碳技术效率出现了局部收敛,下文将采用俱乐部收敛性检验做更详尽的分析。

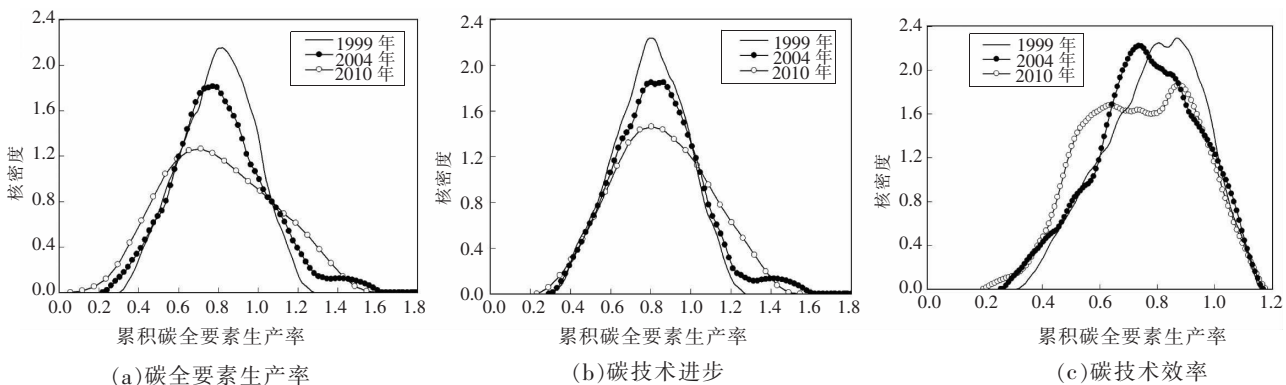


图1 省际碳全要素生产率及其分解的动态演进

(三) 东部、中部、西部区域俱乐部收敛性检验

样本期内东部地区、中部地区<sup>①</sup>和西部地区的碳

全要素生产率及其分解是否存在收敛性,其相应的核密度函数估计分别如图2、图3和图4所示。

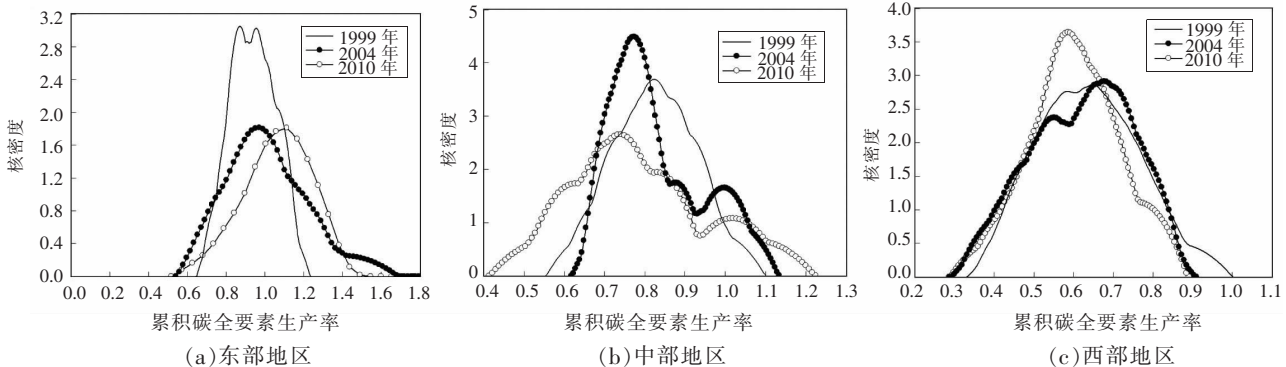


图2 三大地区碳全要素生产率的动态演进

由图2可以看出,东部地区碳全要素生产率的核密度估计曲线逐年往右移动,并且近些年呈现右偏的态势,这说明东部地区碳全要素生产率存在增长,而且某些省份的增长速度远远大于其他省份,但由于整体曲线往右移动的幅度有限,说明增长率较低;中部地区碳全要素生产率的核密度估计曲线呈现逐年左移的趋势,而且移动幅度还相对较大,这说明中部地区的生产率降低速度较快;西部地区碳全要素生产率的核密度曲线水平位置基本未发生移动,说明西部地区生产率的整体水平保持不变。从核密度估计曲线的垂直位置可以看出,东部地区 and 中部地区都存在发散的趋势,其中中部地区尤为明显,并且曲线的形状还逐渐由单峰转变为多

峰,这可能与中部地区所处的地理位置有关,有些省份向东部地区“学习追赶”,也有些省份却向西部地区趋同;西部地区碳全要素生产率存在明显的收敛性,曲线的形状正好与中部地区相反,由多峰逐渐转变成了单峰,这说明西部地区各省份的碳全要素生产率水平逐步趋于一致。

由图3可以看出,东部地区碳技术进步的核密度估计曲线逐步往右移动,并且出现右偏态势,说明东部地区的碳技术进步较快,同样也存在表现突出的省份;中部地区碳技术进步的核密度估计曲线缓慢往右移,说明中部地区各省份存在一定程度的碳技术进步,但是幅度很小;西部地区碳技术进步的核密度估计曲线形状和位置基本未变,这说明西

①东部地区包括广东、江苏、上海、浙江、山东、北京、福建、天津、辽宁、河北和海南等11个省份;中部地区包括湖北、湖南、江西、河南、黑龙江、安徽、吉林和山西等8个省份;西部地区包括广西、四川、陕西、重庆、内蒙古、云南、甘肃、贵州、新疆、宁夏和青海等11个省份。

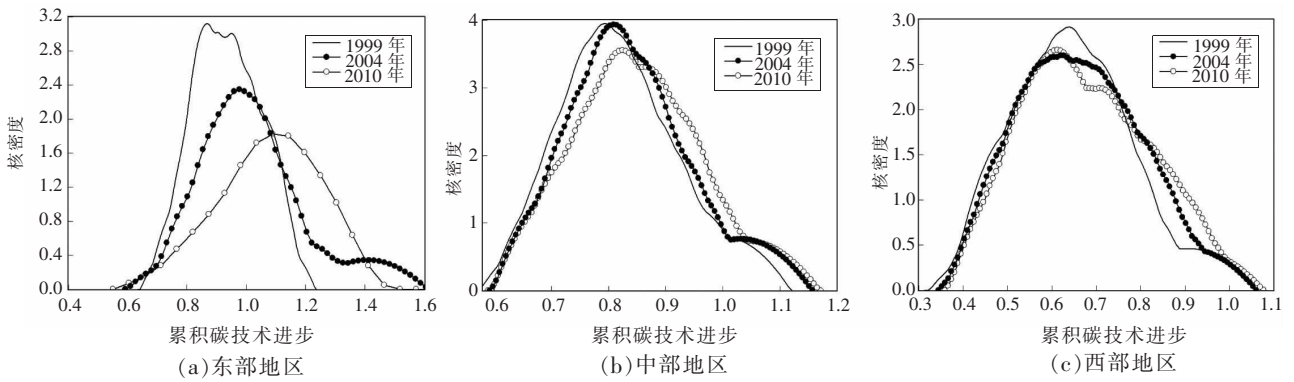


图3 三大地区碳技术进步的动态演进

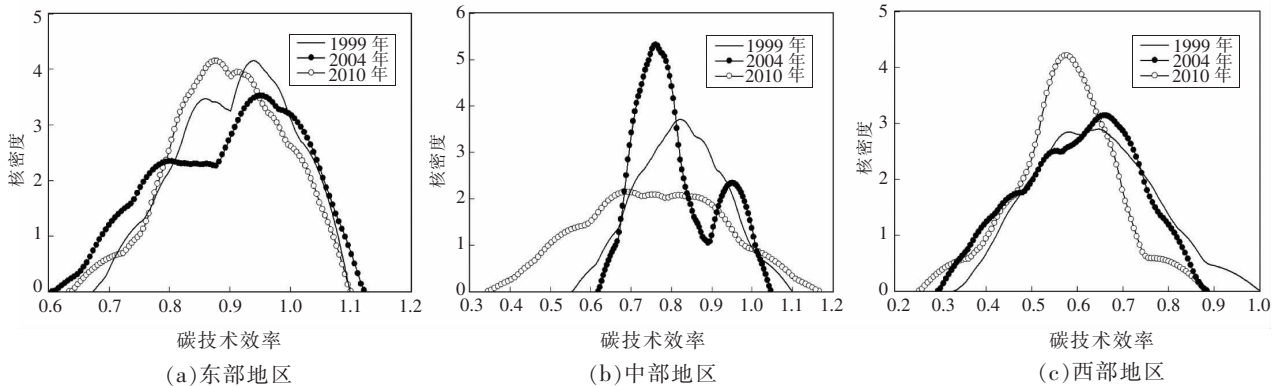


图4 三大地区碳技术效率的动态演进

部地区在推动技术进步方面所起的作用有限。

由图4显示,东部地区碳技术效率的核密度估计曲线一直是双峰的形状,曲线出现逐年左移的现象,曲线的高度呈现先下降后上升的态势,这说明东部地区内部省份存在两个“群体”,但整体上来讲东部地区碳技术效率存在收敛性;中部地区碳技术效率的核密度估计曲线水平位置移动不大,但是垂直位置出现先上升后下降的趋势,特别是2010年的曲线下降非常快,这说明中部地区的碳技术效率的平均水平未发生太大变化,但是各省份之间差异逐年扩大,发散趋势明显,与碳全要素生产率发展情况基本一致;西部地区碳技术效率的核密度估计曲线的水平位置也未发生明显变化,但其垂直位置与中部地区相反,出现逐年升高的趋势,而且呈现单峰的形状,这说明西部地区各省份碳技术效率水平存在明显的收敛性。

综合三大地区的收敛性检验结果,东部地区开放较早,各省份之间交流比较充分,满足技术效率趋同条件较为容易,表现出局部的俱乐部收敛;中部地区由于特殊的地理位置,有些省份比如安徽与东部地区发达省份比较接近,通过不断地学习模仿使得技术效率得到大幅度提高,但还有些省份却停滞不前甚至下降,导致中部地区总体发散;西部地

区技术效率虽然也如东部地区一样收敛,但却是在低水平上收敛。

## 六、结论与建议

碳排放是经济增长的“坏产出”。传统全要素生产率测度方法忽视或未突出体现这一非期望产出,不利于节能减排背景下对中国经济增长质量的科学认识。本文考虑碳排放、构建SML指数模型测算中国1998—2010年省际碳全要素生产率,并利用核密度函数估计法分别检验了中国省际及东部、中部、西部三大区域碳全要素生产率及其分解的收敛性,得出的主要结论包括:(1)1998—2010年,在考虑碳排放和未考虑碳排放两种情形下,中国全要素生产率的增长率分别为0.9%和0.4%,一方面表明全要素生产率增长速度较慢,对经济增长的贡献较为有限,另一方面显示出传统方法对全要素生产率存在低估的情况,中国在碳减排等环境保护方面所做的努力已经取得成效。(2)中国碳全要素生产率增长主要是由技术进步推动的,技术效率在大多数年份都处于恶化的状态。但是换角度而言,技术效率水平较低也表明其存在很大改善空间,如何提高技术效率应是未来研究的重点。(3)东部地区的碳全要素生产率指数、技术进步指数、技术效率指数

都是最高的,中部地区除了技术进步指数比西部地区略小之外,其他方面的表现均要优于西部地区。而且,收敛性检验表明,中国省际碳全要素生产率及分解存在明显的发散趋势,三大地区在经济发展质量上的差距在不断拉大。可见,虽然中国采取了“西部大开发”“中部崛起”等一系列促进中西部地区发展的政策,但实施效果并不是特别理想,东部地区仍然担当着“领先者”的角色。

根据上述研究结论,中国省际碳全要素生产率的增长特征可概括为“总体缓慢增长、区域极不平衡”,解决这一困境的关键在于中西部地区。本文提出以下政策建议:(1)优化中西部地区产业结构。中西部地区应结合自身的资源优势和市场潜力,鼓励和引导资源合理开发,促进资源产业的集约化发展。此外,中西部地区拥有门类齐全的工业基础,地方政府在坚决淘汰高能耗、高排放的落后产能的同时,积极引进资本和技术密集型项目,形成新的低碳产业

体系。(2)应从国家发展战略的高度促进产业转移和联动,建立东部地区带动中西部地区发展的新举措。中央政府可出台专门的总体规划,鼓励东部地区现有的一些劳动密集型企业向中西部地区转移,给予一定程度的财政、税收等方面的优惠,通过人员流动、模仿、产业整合、技术交易等渠道加快中西部地区“学习追赶”东部发达地区前沿技术的步伐。(3)引导高质量外资向中西部地区流入。各地方政府应相互协调,建立外资进入的绿色标准,从低碳的角度对外资进行筛选,支持外资投资节能环保产业,鼓励其从事节能减排、防污治污等产品和设备的生产,充分利用外资的技术溢出效应。(4)发挥基础设施对全要素生产率增长的推动作用。国家基础设施建设应与中西部地区产业布局相对应,把握好“适度”和“适用”的原则,特别是交通运输建设,以点带面,实现生产要素在全国范围内的无障碍流动。

#### 参考文献:

- [1] Chow G. Capital formation and economic growth in China[J]. Quarterly Journal of Economics, 1993, 108:809-842.
- [2] 张军,施少华. 中国经济全要素生产率变动:1952—1998[J]. 世界经济文汇, 2003(2):17-24.
- [3] OECD. Economic surveys: China[R]. OECD Publishing, 2005.
- [4] 涂正革. 全要素生产率与区域经济增长的动力——基于对 1995—2004 年 28 个省市大中型工业的非参数生产前沿分析[J]. 南开经济研究, 2007(4):14-36.
- [5] Perkins D, Rawski T. Forecasting China's economic growth to 2025[M]. Cambridge University Press, 2008.
- [6] 吴军. 环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(11):17-27.
- [7] 王兵. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010(5):95-109.
- [8] 董敏杰. 中国工业环境全要素生产率的来源分解——基于要素投入与污染治理的分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2012(2):3-20.
- [9] 胡晓珍,杨龙. 中国区域绿色全要素生产率增长差异及收敛分析[J]. 财经研究, 2011(4):123-134.
- [10] 孙传旺. 碳强度约束下中国全要素生产率测算与收敛性研究[J]. 金融研究, 2010(6):17-33.
- [11] Fujii H, Kaneko S, Managi S. Changes in environmentally sensitive productivity and technological modernization in China's iron and steel industry in the 1990s[J]. Environment and Development Economics, 2010, 15(4):485-504.
- [12] 赵成柏,毛春梅. 碳排放约束下中国地区全要素生产率增长及影响因素分析[J]. 中国科技论坛, 2011(11):68-74.
- [13] 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[J]. 经济研究, 2012(7):62-74.
- [14] 周五七,聂鸣. 低碳转型视角的中国工业全要素生产率增长——基于 1998—2010 年行业数据的实证分析[J]. 财经科学, 2012(10):73-83.
- [15] Zhang Y J, Da Y B. Decomposing the changes of energy-related carbon emissions in China: evidence from the PDA approach [J]. Natural Hazards, 2013, 69: 1109-1122.
- [16] Fare R. Environmental production functions and environmental directional distance functions[J]. Energy, 2007, 32: 1055-1066.
- [17] Luenberger D G. Microeconomic theory[M]. Boston: McGraw-Hill, 1995.
- [18] Donghyun O, Almas H A. Sequential malmquist-luenberger productivity index: environmentally sensitive productivity growth considering the progressive nature of technology[J]. Energy Economics, 2010, 32(9): 1345-1355.
- [19] Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51: 229-240.
- [20] 张军. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10):35-44.
- [21] Sain S R, Scott D W. On locally density estimation[J]. Journal of the American Statistical Association, 1996(91):1525-1534.



- [22] Alberola E, Chevallier J, Cheze B. European carbon price fundamentals in 2005—2007: the effects of energy markets, temperatures and sectorial production [J]. *Journal of Policy Model*, 2009, 31(3): 446–462.
- [23] Chevallier J, Ielpo F, Mercier L. Risk aversion and institutional information disclosure on the European carbon market: a case-study of the 2006 compliance event [J]. *Energy Policy*, 2009(37): 15–28
- [24] Keppler J H, Mansanet-Bataller M. Causalities between CO<sub>2</sub> electricity, and other energy variables during phase I and phase II of the EU ETS [J]. *Energy Policy*, 2010 (38): 3329–3341.
- [25] Bai J, Perron P. Computation and analysis of multiple structural change models [J]. *Journal of Applied Econometrics*, 2003 (18): 1–22.
- [26] Bredin D, Muckley C. An emerging equilibrium in the EU emissions trading scheme [J]. *Energy Economics*, 2011(33): 353–362.
- [27] Hoerl A, Kennard R. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems [J]. *Technometrics*, 1970, 12(1): 55–67.
- [28] Grubb M, Ferrario F. False confidences: forecasting errors and emission caps in CO<sub>2</sub> trading systems [J]. *Climate Policy*, 2006 (6): 495–501.

## Research on the International Carbon Price Driving Factors

### —A Case Study of the European Union Emission Trading Scheme

ZHU Bangzhu

(School of Economics and Management, Wuyi University, Jiangmen Guangdong 529020, China)

**Abstract:** The exploration of the driving factors of carbon price has become one of the focuses in the field of energy economics. Relying on the European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) allowance futures price 2006—2012, an integrated model of the structure breakpoint test, cointegration technique and ridge regression analysis is used to explore the factors and patterns of carbon price driving factors. The empirical results show that, the Bali action plan in 2007, global financial crisis in 2008 and European debt crisis in 2011 had significant influences on the carbon price, which led to a structural breakpoint of the carbon price respectively. Meantime, a cointegrating relationship existed between the carbon price and its driving factors including energy prices, industrial production and weather. The estimated carbon prices are below equilibrium values, while the future carbon price tends to be undervalued since October 2009.

**Key words:** European Union emission trading scheme; carbon price drivers; structure breakpoint test; cointegration technique; ridge regression analysis

[责任编辑:孟青]

—————  
(上接第 21 页)

## Growth and Convergence Analysis on the Carbon Total Factor Productivity of China's Provinces

LI Qiang, FENG Bo

(School of Management, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** Treating carbon emissions as undesirable output, this paper constructs SML index model to calculate the carbon total factor productivity and its decomposition in China's provinces from 1998 to 2010. Then, it uses Kernel density estimation method to make convergent analysis of the whole country, as well as the eastern, middle and western regions. The results show that in this period, the average annual growth rate of China carbon total factor productivity is only 0.9%, furthermore, it is mainly driven by technological improvement. Technological efficiency is in a state of deterioration at most years. The carbon total factor productivity of eastern region grows fastest, while that of western region is slowest. The carbon total factor productivity and its decomposition of the whole country reveal apparent divergence apparently. The eastern region and western region have “club convergence” in terms of technological efficiency.

**Key words:** total factor productivity; carbon emission; convergence analysis

[责任编辑:孟青]