

我国绿色经济效率的区域差异及收敛性研究

钱争鸣, 刘晓晨

(厦门大学 经济学院 福建 厦门 361005)

摘 要: 正确认识我国绿色经济效率区域的差异, 是合理平衡资源与环境发展关系, 实现节能减排的重要前提条件。运用 SBM/超效率 SBM 模型, 通过对我国各省区绿色经济效率静态水平和动态变动进行测度, 可以深入分析省区差异、收敛性以及影响因素。研究发现: 全国绿色经济效率年均值为 0.706, 从整体上呈现先降后升的倒 U 型演化过程。虽然三大区域绿色经济效率水平东部最高, 西部次之, 中部最低, 但省区间的差异性有所下降, 绿色经济效率具有条件 β 收敛性。研究期内效率水平改善的主要动力是技术进步, 经济增长对绿色经济效率的影响逐渐减弱, 1996—2010 年全国范围内绿色经济效率和经济增长之间存在显著的倒 U 型关系。经济发展水平、FDI、结构因素、能源强度、城市化水平对绿色经济效率的影响, 在不同时期具有不同程度的时空差异。

关键词: 绿色经济效率; 绿色 Malmquist 指数; SBM/超效率 SBM; 收敛性

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0438-0460(2014)01-0110-09

引 言

我国政府在“十二五”规划中明确提出了节能减排目标, 这对经济社会的可持续发展、建设生态文明的美丽中国具有重要意义。由于我国各省区的资源禀赋和发展状况存在地域差异, 因此在考虑资源和环境因素下, 正确认识和充分分析各省区经济效率的发展历史和演化过程, 则是实现节能减排目标的前提条件。

近年来, 关于我国区域经济效率及其特征的研究有所突破。Hu 和 Wang(2006) 测算了我国各省区的全要素能源效率(TFEE)。涂正革(2008) 计算了我国各省区环境技术效率, 衡量了环境与工业增长的协调性, 认为区域间环境工业协调性极其不平衡。杨龙、胡晓珍(2010) 提出了绿色经济效率概念, 以构造环境污染综合指数来测度绿色经济效率, 并分析了区域差异和收敛性。钱争鸣等(2013) 首次详细阐述了绿色经济效率的内涵, 并分析了绿色经济效率的区域差异和影响因素。Liu 等(2013) 运用非期望产出的 SBM 模型测度了绿色能源效率。在上述研究中, 非参数 DEA 方法已成为国内外学者测度经济效率的主要方法, 不少学者在考虑资源环境因素时对 DEA 模型进行了拓展(Zhou et al., 2008)。但在经济效率的评价方面仍存在两个主要问题: 一是无法比较经济效率

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 国家自然科学基金项目“国际贸易的碳排放区域转移效应评估、形成机理及中国的碳排放责任”(71373218); 国家社会科学基金项目“中央与地方政府两级污染防治的非对称信息博弈研究”(08BJY076)

作者简介: 钱争鸣, 男, 江苏泰兴人, 厦门大学经济学院教授、博士生导师, 经济学博士; 刘晓晨, 女, 山东昌邑人, 厦门大学经济学院博士研究生。

值等于 1 的有效单元之间的效率高低;二是所测得的经济效率多为静态的,只适合于各省区间的横向比较,不利于从时间上进行纵向对比。为了解决第一个问题,我们引入超效率模型,通过重新计算有效单元之间的生产前沿,使它们之间的效率评比成为可能。然而,传统的超效率模型并没有考虑存在非期望产出的情形,为此我们借鉴 Li Hong 等(2012)的方法,将非期望产出放入超效率 SBM 模型中,以解决资源约束和非期望产出下有效单元之间的效率比较问题。我们通过借鉴 Malmquist 指数的计算及建模分析法来解决第二个问题。基于产出/投入导向的 Malmquist 指数及 ML 指数都忽视了投入与产出的松弛变量,均需要在成本最小化或者收益最大化的假设下对测度的对象进行选择,而现有基于松弛变量的 Malmquist 指数却存在没有考虑资源和环境因素的缺陷。为此,将非期望产出的 SBM/超效率 SBM 模型与 Malmquist 指数相结合,构造出绿色 Malmquist 指数,以分析资源环境因素下各省区绿色经济效率的动态变动。

沿用钱争鸣等(2013)对绿色经济效率的界定,本文研究的主要工作有:构建基于非期望产出的 SBM/超效率 SBM 模型,测度绿色经济效率静态水平,并通过分解绿色 Malmquist 指数,寻求影响效率动态变动的来源;研究各省区绿色经济效率的区域差异;通过建模与数据整理,对各省区绿色经济效率的收敛性进行实证分析。

一、建模与分析方法

假设每个省区是一个生产决策单元(DMU),每个省区都有 m 种投入元素(包括资源类投入和非资源类投入)、 s_1 种期望产出和 s_2 种非期望产出,用向量可表示成 $x \in R^m$, $y^g \in R^{s_1}$ 及 $y^b \in R^{s_2}$ 。定义矩阵 X 、 Y^g 、 Y^b 如下: $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$, $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$, $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$, 其中, $x_i > 0$, $y_i^g > 0$, $y_i^b > 0$ 。于是,构造出如下测度绿色经济效率的生产可能性集合,即环境技术集合 $P = \{(x, y^g, y^b) \mid x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda \geq 0\}$, 其中 λ 是权重向量,若其和为 1 表示生产技术为规模报酬可变的(VRS),否则表示规模报酬不变的(CRS)。

(一) 绿色经济效率静态水平的测算模型

分别构造考虑非期望产出的 SBM 模型(模型 1)和超效率 SBM 模型(模型 2),它们都是非线性规划问题,可以通过 Charnes 和 Cooper(1978)的方法转换线性规划问题。

依照 Tone(2004)提出的方法,考虑非期望产出的 SBM 模型可写成:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_0 = X\lambda + s^-, \\ y_0^g = Y^g\lambda - s^g, \\ y_0^b = Y^b\lambda + s^b, \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

其中, s 表示投入、产出的松弛量; λ 是权重向量。目标函数 ρ^* 关于 s^-, s^g, s^b 是严格递减的,并且 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。对于特定的被评价单元,当且仅当 $\rho^* = 1$, 即 $s^- = 0, s^g = 0, s^b = 0$ 时是有效率的。如果 $\rho^* < 1$, 则说明被评价单元是无效率的,存在投入产出上改进的必要。

将非期望产出放入超效率 SBM 模型中得到生产可能性集合,即环境技术为:

$$\bar{P} = P \setminus (x_0, y_0) = \{(\bar{x}, \bar{y}^g, \bar{y}^b) \mid \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j x_j, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j^b, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0\},$$

则考虑非期望产出的超效率 SBM 模型如下:

$$\tau^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j x_j, \\ \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \\ \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j^b, \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

其中, λ 是权重向量。目标函数 τ^* 的值一定不小于 1, 且 τ^* 越大表明该单元越有效率。

(二) 绿色经济效率的动态分析模型

1. 概念界定和理论模型

δ_c 和 δ_v 分别表示规模报酬不变和规模报酬可变的效率值。分别定义以 t 期和 $t + 1$ 期生产技术为参照的绿色 Malmquist 指数(GMI), 如(3)式和(4)式。为避免因参照基准选择的任意性而造成的差异, 将(3)(4)两式的几何平均作为从 t 期到 $t + 1$ 期的 GMI。 $\delta^s(x_0^t, y_0^t)$ 、 $\delta^t(x_0^s, y_0^s)$ 、 $\delta^s(x_0^s, y_0^s)$ 、 $\delta^t(x_0^t, y_0^t)$ 为获得 GMI 的四个基本要素, 其中前两项是当期的效率值, 后两项是跨期的效率值。

$$GMI_t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{\delta_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^t(x^t, y^t)} \quad (3)$$

$$GMI_{t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{\delta_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (4)$$

$$GMI(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = (GMI_t \cdot GMI_{t+1})^{1/2} \quad (5)$$

以 s 期生产技术为参照的 t 期 DMU₀ 的跨期效率 $\delta^s(x_0^t, y_0^t)$ 的测算模型: 模型(6)和模型(7), 它们均可以通过 Charnes 和 Cooper(1978)的方法转换线性规划问题。

$$[\text{非期望产出的 SBM}] \quad \delta^s(x_0^t, y_0^t) = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi_i}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \varphi_r^g + \sum_{r=1}^{s_2} \varphi_r^b \right)} \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} (1 - \varphi_i) x_{i0}^t = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^s, \\ (1 + \varphi_i^g) y_{i0}^{gt} = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^{gs}, \\ (1 - \varphi_i^b) y_{i0}^{bt} = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^{bs}, \\ L \leq e\lambda \leq U, \varphi \geq 0, \varphi^g \geq 0, \varphi^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

$$[\text{非期望产出的超效率 SBM}] \quad \delta^s(x_0^t, y_0^t) = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi_i}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \varphi_r^g + \sum_{r=1}^{s_2} \varphi_r^b \right)} \quad (7)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} (1 + \varphi_i) x_{i0}^t = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^s, \\ (1 - \varphi_i^g) y_{i0}^{gt} = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^{gs}, \\ (1 + \varphi_i^b) y_{i0}^{bt} = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^{bs}, \\ L \leq e\lambda \leq U \quad \varphi \geq 0 \quad \varphi^g \geq 0 \quad \varphi^b \geq 0 \quad \lambda \geq 0 \end{cases}$$

2. GMI 的计算过程

借鉴求解 Malmquist 指数的经验,首先采用排除原则^①通过 SBM 模型求解上述 GMI 的四个基本要素(Cooper W. W. et al. 2007)。如果对应的线性规划问题不可行,那么采用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型(Tone 2002)。这是因为超效率 SBM 模型总是可行的,而且在任何规模报酬下都存在有限的最小值。根据 Fare 等(1994)对 Malmquist 指数的分解, GMI 指数在规模报酬不变的假定下可以分解成相对技术效率变化(EFFCH)和技术进步(TECH)两部分(如公式(8))。在考虑规模报酬的变化时,根据 Ray 和 Delsi(1997)规模报酬不变下的 GMI 指数可进一步分解成纯技术效率变化(PECH)、技术进步(TECH)和规模效率变化(SECH)三部分(如公式(9))。

$$\begin{aligned} GMI(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \frac{\delta_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{\delta_c^t(x^t, y^t)}{\delta_c^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{\delta_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{1/2} \\ &= EFFCH \times TECH \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} GMI_c(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \frac{\delta_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_v^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{\delta_v^t(x^t, y^t)}{\delta_v^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{\delta_v^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{1/2} \\ &\quad \left[\frac{\delta_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})/\delta_v^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^t(x^t, y^t)/\delta_v^t(x^t, y^t)} \frac{\delta_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})/\delta_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_c^{t+1}(x^t, y^t)/\delta_v^{t+1}(x^t, y^t)} \right] \\ &= TECH \times PECH \times SECH \end{aligned} \quad (9)$$

二、数据来源与实证分析

(一) 数据来源

本文选取 1986—2010 年我国 28 个省(或自治区、直辖市)的年度数据计算省际绿色经济效率及绿色全要素生产率。其中 28 个省(或自治区、直辖市)是指除去重庆、海南和西藏(部分数据缺失)后我国大陆境内的省(或自治区、直辖市)。数据资料主要来源于历年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《新中国六十年统计资料汇编》以及部分省(或自治区、直辖市)的统计年鉴。其中,以当年就业人员总数(其值为当年年末就业人数与上年年末就业人数之和的平均数)作为劳动力投入指标;以各省历年的资本存量作为资本投入指标;以各省历年能源消费总量折算成标准煤表示资源投入指标;以国内生产总值(GDP)(1985 年的 CPI 指数为 100)作为期望产出指标;以工业废气排放量、工业废水排放量、工业固体废弃物为非期望产出指标。

由于资本存量在统计年鉴中无法直接获取,因此根据 Hu 和 Kao(2007)以及 Chien 和 Hu

^① 排除原则是指以 $(X, Y)^t$ 为生产技术参照评价某决策单元的效率时,将该决策单元 $(x_0, y_0)^t$ 排除在评价集合 $(X, Y)^t$ 之外。

(2007)提出的方法,采用永续盘存法计算资本存量: $K_t = (1 - \delta) K_{t-1} + I_t$, 其中 K_t 为 t 期的资本存量; I_t 为 t 期的投资,以固定资本形成总额替代; K_{t-1} 为 $t - 1$ 期的资本存量; δ 为资本的折旧率; 初始资本存量、折旧率以及固定资本投资价格指数的计算均借鉴单豪杰(2008)的做法。

(二) 实证分析

本文在省际面板数据的基础上分别构造资源约束和环境代价下每一年生产前沿,从静态、动态两个方面进行具体测算。静态分析是将每一年各省区的投入产出与该年的前沿面作比较,测算出各省每年的绿色经济效率。动态分析是将相邻两年的前沿面互作参照,运用绿色全要素生产率研究各省区绿色经济效率的动态变动,并通过 GMI 的分解寻求效率变动的来源。为清晰地分析绿色经济效率及其动态变化,在时间上将样本时间划分为“七五”“八五”“九五”“十五”“十一五”不同的五年计划进行研究;在空间上,按照传统的划分方法,研究东部、中部和西部的区域差异。

1. 绿色经济效率静态水平分析

各省区的绿色经济效率水平值越大表示效率水平越高。当效率值小于 1 时,表明该省区经济缺乏效率,存在继续改进的空间;当效率值大于等于 1 时,表明该省区在全国范围内是相对有效的,即该省区处于全国的生产前沿面上,不存在资源投入过多、污染物排放过度以及好产出生产不足的情况,而此时的效率值越大则表示与所有相对有效率的省区相比,该省区仍具有较高的效率水平。通过计算发现,CRS 和 VRS 两种情形的效率值很不相同,由于各省区的经济条件各异,因此选用规模报酬可变(VRS)的生产技术约束更合理。

如表 1 所示,VRS 下全国绿色经济效率水平的年平均值为 0.706,以“九五”为转折点呈现先下降后回升的趋势,其中“九五”比“八五”的平均效率水平降低了 4.47%，“十一五”比“十五”提高了 4.61%。从分区域情况来看,东、中、西三大区域绿色经济效率水平的年平均值分别为 0.881、0.516 和 0.636,表明东部的经济效率最高,西部其次,中部最低。从分时间段来看,东部和西部省区的平均效率水平变动

与全国大致一致,以“九五”为转折期,绿色经济效率水平开始缓慢上升,而在“十一五”期间有短期下降;中部省区则从“八五”末期开始就进入了绿色经济效率水平的提高阶段,在“九五”“十五”期间效率水平有了显著的提高,平均增幅为 12.16%(见图 1)。

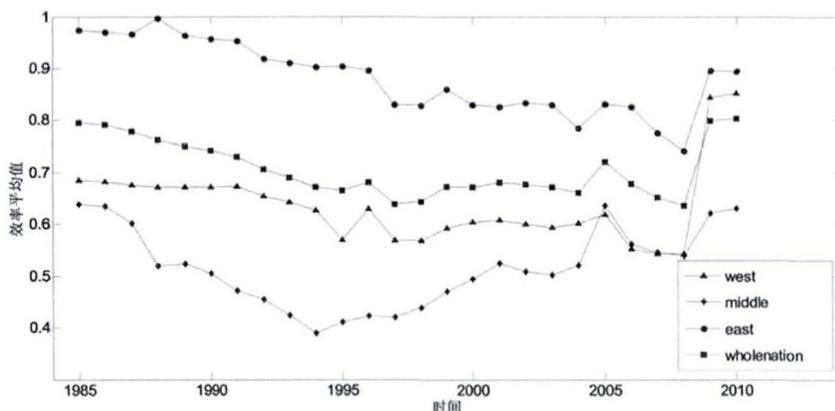


图 1 1985—2010 年东中西效率平均值的变化趋势

表 1 1986—2010 年我国各省区绿色经济效率五年计划平均值

区域	类别	1986—1990 年	1991—1995 年	1996—2000 年	2001—2005 年	2006—2010 年
全国	VRS	0.765	0.693	0.662	0.682	0.714
东部		0.971	0.917	0.849	0.821	0.827
中部		0.557	0.429	0.449	0.538	0.579
西部		0.675	0.633	0.593	0.605	0.667

注: VRS 表示规模报酬可变。

2. 绿色经济效率的动态分析

绿色经济效率测度了某个时间点上各省区与生产前沿之间的相对关系,是一种静态分析;而对绿色 Malmquist 指数(GMI)的分析是一种动态分析,用以研究每个省区与生产前沿面相对位置的变动以及生产前沿面之间的变动。从表2可以看出,GMI在全国范围内以“九五”为转折点呈现先下降后回升的趋势,年平均值为0.97,其中技术进步、纯技术效率和规模效率的平均值分别为0.98、1.18和1.21。分阶段来看,“八五”期间GMI平均值比“七五”降低了14.13%;“九五”期间同期又降低了5.1%,主要因为规模效率变化的提高(107.3%)而降低了下滑速度。“十五”和“十一五”期间GMI同期分别提高10.8%和7.1%,回升主要受惠于技术进步的提高(10.5%),而由于纯技术效率以及规模效率的恶化导致其回升速度逐渐减慢。

表2 1986—2010年我国各省区GMI五年计划平均值及其分解

年份		全国	东部	中部	西部
1986—1990年	MGEI	1.069	0.994	0.959	1.010
	TECH	0.994	0.949	0.978	0.975
	PECH	1.025	1.098	1.017	1.041
	SECH	1.074	0.962	0.970	1.010
1991—1995年	MGEI	0.918	0.952	0.937	0.935
	TECH	0.989	0.955	0.934	0.963
	PECH	0.994	1.052	1.029	1.021
	SECH	0.953	0.960	0.988	0.967
1996—2000年	MGEI	0.871	0.865	0.901	0.879
	TECH	0.904	0.915	0.901	0.908
	PECH	1.848	1.040	1.088	1.368
	SECH	1.976	0.957	0.980	1.365
2001—2005年	MGEI	0.965	0.970	0.908	0.960
	TECH	0.999	0.994	1.009	0.995
	PECH	1.009	1.048	1.078	1.049
	SECH	1.015	1.022	0.961	1.008
2006—2010年	MGEI	1.033	0.991	0.946	0.998
	TECH	1.010	0.931	0.962	0.974
	PECH	1.001	1.028	1.056	1.024
	SECH	1.053	1.059	0.956	1.030

分省区来看,东部、中部和西部GMI的年平均值分别为0.95、0.93和0.95。“九五”前,东部省区效率水平下降主要是由于技术进步和纯技术效率的恶化,而中部和西部省区主要是因为技术进步的负增长。从“九五”开始,各省区效率水平开始逐渐回升,东部、中部和西部的平均增长率分别为7.15%、2.48%和6.59%,即东部省区绿色经济效率水平提高最快,西部次之,中部最末。东部省区效率水平的迅速增长主要得益于技术进步和规模效率的提高,而中部和西部省区虽然技术进步有所提高,但是纯技术效率和规模效率却出现恶化,从而导致回升速度较慢。一个很可能的原因是中西部省区缺乏必要的资金扩大生产和污染治理的规模。

三、我国绿色经济效率的收敛性分析

通过对东部、中部、西部绿色经济效率的静态和动态分析,不难发现我国省区绿色经济效率水平存在明显的区域差异,而且在不同时间段内也呈现了不同的变化趋势。为研究这种时空差异的变化,基于 Martin(1996)提出的收敛模型,分时段建立如下固定效应面板模型(10):

$$\ln(\text{gee}_{i,t}/\text{gee}_{i,t-1}) = \alpha + \beta \ln \text{gee}_{i,t-1} + \varphi D_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

其中, $\text{gee}_{i,t}$ 和 $\text{gee}_{i,t-1}$ 分别表示第 i 个省区在 t 期和 $t-1$ 期的绿色经济效率水平, α 是常数项, ε 是误差项。若回归系数 $\beta < 0$, 则表明各个省区的绿色经济效率水平随着时间会趋向于一个稳态水平,即存在条件 β 收敛。否则,不存在条件 β 收敛。

控制变量 D_{it} 的选择具体如下:(1) 经济发展水平:用人均 GDP 的对数($\ln \text{GDPN}$)表示,人均 GDP 对数的平方也在回归方程中,主要用于验证绿色经济效率与人均 GDP 之间是否存在“倒 U 型”关系。(2) 结构因素:用第二产业总产值占 GDP 的比重表示产业结构(INDSH),用资本与劳动比率的对数(KL)表示禀赋结构。通常第二产业比重越大,绿色经济效率越低。而禀赋结构对绿色经济效率的影响不确定。(3) 外商直接投资(FDI):FDI 的流入常常加强了产业的资源依赖性,而通过技术外溢又能提高当地的生产和治污管理水平。虽然许多文献探讨了 FDI 的作用,但是对此没有统一的结论。用外商直接投资占 GDP 的比重来表示 FDI,预期影响不确定。(4) 城市化水平(URBAN):相对于农村,城市的资源依赖性更加突出,而城市在提高资源利用效率和污染治理水平上又往往拥有技术优势。因而,各省区的城市化水平对绿色经济效率可能产生影响。选用非农业人口的比重作为城市化水平的代表,预期影响不确定。(5) 能源强度(ER):它是影响环境污染的一个最直接因素,用能源消费总量占 GDP 的比重来表示。

从表 3 可以看出,在东部、中部、西部和全国范围内,系数 β 在 1% 的显著性水平下均为负值,表示存在条件 β 收敛。东部、西部和全国范围的收敛速度在 1996 年后比 1996 年以前有所降低,而绿色经济效率水平较低的中部省区在 1996 年以后显著提高,表明其趋同性更快。通过分析控制变量的具体数据,可以发现,在 1986—1996 年和 1996—2010 年两个时间段内,绿色经济效率和经济增长之间的关系存在较大差异,在 1996 年前绿色经济效率和经济增长之间没有“倒 U 型”关系,但在 1996 年后的全国范围内,绿色经济效率和经济增长之间具有了显著的“倒 U 型”关系,而且人均 GDP 一次项和二次项的系数绝对值均有减小的趋势。这在一定程度上说明,在 1996 年以后,各省区及全国范围绿色经济效率水平的变动主要受到产业结构、资本结构以及能源强度的影响,而经济增长的影响作用在不断地减弱。

表 3 模型的估计结果

模型 Model	1986—1996 年				1996—2010 年			
	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	全国
$\ln \text{gee}_{i,t-1}$	-0.322*** (-4.36)	-0.353*** (-4.50)	-0.604*** (-7.12)	-0.349*** (-8.62)	-0.268*** (-3.84)	-0.548*** (-5.37)	-0.201*** (-2.30)	-0.300*** (-6.52)
$\ln \text{GDPN}$	-0.617** (-2.62)	-0.368 (-0.52)	-0.516** (-2.21)	-0.514*** (-3.37)	0.195 (0.73)	1.071 (1.64)	1.410*** (3.53)	0.411*** (2.79)
$\ln \text{GDPN}^2$	0.102** (-2.70)	0.155 (2.23)	0.139*** (1.01)	0.110*** (2.76)	-0.015 (3.49)	-0.181* (-0.48)	-0.250*** (-1.74)	-0.056*** (-3.57)
FDI	-0.135 (-0.29)	-4.996*** (-3.05)	-1.921** (-1.92)	-0.464 (-1.27)	-0.376 (-0.48)	-3.116 (-1.21)	1.817 (0.61)	-0.505 (-0.70)

续表3

模型 Model	1986—1996 年				1996—2010 年			
	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部	全国
INDSH	0.096 (0.29)	-0.656* (-1.94)	0.254 (1.03)	-0.079 (-0.42)	0.565 (1.07)	1.047 (1.19)	-1.036* (-1.90)	-0.556* (-1.82)
KL	0.113 (0.40)	0.712 (1.60)	0.419** (2.51)	0.256 (1.57)	-0.164 (-0.33)	2.307 (1.53)	5.142*** (3.18)	0.803* (1.94)
URBAN	-0.379 (-0.50)	1.051 (0.90)	-0.906** (-2.37)	-0.074 (-0.18)	-0.107 (-0.33)	0.721 (0.79)	1.012 (1.02)	0.301 (1.08)
ER	0.105 (0.48)	-0.716** (-2.09)	-0.479*** (-5.19)	-0.197* (-1.76)	-0.077* (-2.06)	0.021 (0.27)	0.089** (2.43)	0.034 (1.54)
常数项	0.862*** (2.75)	0.049 (0.06)	0.255 (0.93)	0.502*** (2.73)	-0.719 (-1.49)	-2.634** (-2.39)	-2.124*** (-3.17)	-0.755*** (-3.06)

注: 括号中的数字表示统计量的值; * , ** 和 *** 分别表示参数估计值在 0.1 ρ 0.05 和 0.01 的水平上显著。

四、结论与建议

本文利用 1986—2010 年我国 28 个省区(或自治区、直辖市)的年度数据,测度了绿色经济效率静态水平和动态变动状况,通过分析并计算我国省区绿色经济效率及绿色 Malmquist 指数,解决了资源环境约束下有效单元之间的比较问题和绿色经济效率的动态变动分析问题。采用动静结合、时空对比的方法展开研究,分析了绿色经济效率水平的区域差异,并通过分解绿色 Malmquist 指数,得到了影响绿色经济效率动态变动的主要因素,并深入分析了它的收敛特征。

分析结果表明:全国绿色经济效率水平以“九五”为转折期呈现先降后升的趋势,在很长一段时间内,效率水平的改善主要依赖于规模效率的增长,由于初期节能减排的边际成本相对较低,资源和环境管制能有效地改善资源利用效率和污染物的过度排放,但随着节能减排成本的提高,规模效率的优势便不复存在,技术进步才是提高绿色经济效率水平的主要动力。东、中、西三大区域的绿色经济效率水平呈现出东部高于西部,西部又高于中部的特点。区域间的差异存在收敛性和趋同性,但收敛速度在 1996 年前后存在差异。东部、西部和全国范围的收敛速度在 1996 年后比之前有所降低,而绿色经济效率水平较低的中部省区在 1996 年以后显著提高,表明其趋同性更快。根据实证结果,为促进各省区的绿色经济发水平与效率值的趋同,中部省区仍要以发展经济为重心,东部省区需要进一步改善资源及有关能源的配置,而西部省区应根据自身的资源禀赋与发展状况,着力调整产业结构和资本构成,以提高各自的绿色经济效率水平。

参考文献:

- 钱争鸣,刘晓晨. 2013 《我国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析》,《中国人口资源与环境》第 7 期。
- 单豪杰. 2008 《中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006》,《数量经济技术经济研究》第 10 期。
- 涂正革. 2008 《环境、资源与工业增长的协调性》,《经济研究》第 2 期。
- 杨龙,胡晓珍. 2010 《基于 DEA 的中国绿色经济效率省区差异与收敛分析》,《经济学家》第 2 期。
- Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. 1978, “Measuring the efficiency of decision making units” *European Journal of Operational Research*, vol. 2(6): 429-444.
- Chien T., Hu J. L. 2007, “Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies” *Energy Policy* 35: 3606-3615.
- Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. 2007 *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models applications ref-*

- erences and DEA-Solver software Second edition ,New York Springer Science+Business Media ,LLC.
- Fare R. grosskopf S. et al. 1994, "Productivity Change in Swedish Hospitals: A malmquist output index approach" in Charnes A. ,Cooper W. W. et al. (eds) ,*Date envelopment analysis: theory methodology and appl ications* ,Boston ,Kluwer Academic Publishers.
- Hu J. L. ,Wang S. C. 2006, "Total-factor energy efficiency of regions in China" *Energy Policy* 34: 3206-3217.
- Hu J. L. ,Kao C. H. 2007, "Efficiency energy-saving targets for APEC economies" *Energy Policy* 35: 373-382.
- Li H. ,Fang K. et al. 2012, "Regional environmental efficiency evaluation in China: Analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs" *Mathematical and Computer Modeling* ,Vol. 58: 1018-1031.
- Liu X. C. ,Qian Z. M. 2013, "Study on energy saving with Chinese regional energy-economic efficiency analysis based on the SBM model" *Advanced Materials Research* ,vol. (648) : 247-250.
- Ray S. C. ,Delsi E. ,1997, "Productivity growth ,technical progress and efficiency change in industrialized countries: comment" *The American Economic Review* ,vol. 87(5) : 1033-1039.
- Sala I Martin X. ,1996, "The classical approach to convergence analysis" *The Economic Journal* ,vol. (106) : 1019-1036.
- Tone K. 2002, "A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis" *European Journal of Operational Research* ,vol. (143) : 32-41.
- Tone K. 2004, "Dealing with undesirable outputs in DEA: a slacks-based measure(SBM) approach" ,Presentation at NAPW III 2004.
- Zhou P. ,Ang B. W. ,Poh K. L. 2008, "A survey of data envelopment analysis in energy and environment studies" *European Journal of Operational Research* ,189: 1-18.

[责任编辑: 叶颖玫]

A Study of Regional Differences and Convergence of Green Economic Efficiency in China

QIAN Zheng-ming , LIU Xiao-chen

(School of Economics , Xiamen University , Xiamen 361005 , Fujian)

Abstract: To obtain a correct understanding of differences in green economic efficiency (GEE) in different regions of China is an important prerequisite for our capacity to strike a good balance between resources and environmental development and to materialize energy conservation and emission reduction. This study measures the stationary and dynamic levels of GEE in China's various provinces by SBM and super SBM and carries out an in-depth analysis of regional differences , convergence and influencing factors. The results show that the annual average of China's GEE is 0.706 and that its development follows an inverted U-shape on the whole. Although among the three traditional regions there is a progressive decrease in GEE , with the east being the highest , the west second highest and the middle the lowest , the GEE gaps between different provinces have been narrowed owing to its character of conditional β convergence. It is found that between 1996 and 2010 technological progress was the main driving force behind the improvement of GEE; that the effect of economic growth on GEE gradually decreased; that across the country there existed a significant inverted U-shape relationship between GEE and economic growth; and that the influence of economic development , FDI , structural factor , energy intensity and level of urbanization on GEE varied according to different periods of time and regions.

Key Words: green economic efficiency , green Malmquist index , SBM/Super SBM , convergence