

绩效评估视角下我国 CO₂ 排放的地区差异及随机收敛

杨 骞¹ 刘华军²

(1. 山东财经大学公共管理学院, 山东 济南 250014; 2. 山东财经大学经济学院, 山东 济南 250014)

[摘 要] 在当前工业化和城市化加速发展的关键时期,降低二氧化碳排放必须要与经济发展结合起来予以考虑,以实现二氧化碳减排与经济增长的“双赢”。二氧化碳排放绩效指标衡量二氧化碳减排条件下经济发展状况,能够体现二氧化碳减排与经济发展的“双赢”程度。通过研究发现:为提高这种“双赢”程度,要充分发挥技术进步对二氧化碳排放绩效提升的促进作用,同时通过优化资源配置等手段扭转技术效率对二氧化碳排放绩效提升的负向作用。此外,为缩小二氧化碳排放绩效的区域差距,应重点发挥政府宏观收敛机制的作用。

[关键词] 方向性距离函数;二氧化碳排放绩效;随机收敛;地区差异

[中图分类号] F061.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095-3410(2014)01-0140-09

2009年12月哥本哈根世界气候大会上,作为全球 CO₂ 排放最多^①的国家,中国政府向全世界郑重承诺,“2020年中国单位 GDP 二氧化碳排放要比2005年下降40%—45%”。目前,国家“十二五”规划也做出明确要求,“2015年单位 GDP 二氧化碳排放量要比2010年降低17%”。在大力降低 CO₂ 排放的同时,我们也需要认识到,当前中国正处于工业化和城市化加速发展的关键时期,经济发展的意义至关重要,二氧化碳的减排应以保证经济正常稳定增长为前提,换言之,降低二氧化碳排放必须要与经济发展“结合”起来予以考虑,以实现二氧化碳减排与经济发展的“双赢”。二氧化碳排放绩效(简称碳排放绩效)能够衡量二氧化碳减排约束下的经济发展水平,体现二氧化碳减排与经济发展的“双赢”程度。本文将二氧化碳排放作为“坏”产出,运用环境生产技术框架下的方向性距离函数模型,在对1995—2009年全国28个省区市的二氧化碳排放绩效测

算的基础上,对我国二氧化碳排放绩效的动态演变规律和地区差异进行分析,并运用区域经济增长的随机收敛检验方法对我国二氧化碳排放绩效的收敛性进行研究。以上问题的研究,对于掌握我国二氧化碳排放绩效的演变特征以及区域分布规律,协调经济增长与二氧化碳减排之间的关系、制定科学的低碳经济发展战略具有重要的现实意义。

一、文献综述

依据投入要素考察的多寡,二氧化碳排放绩效指标可分为单要素指标和全要素指标。其中,单要素指标多以二氧化碳排放总量与某一要素的比值来表示,虽易于理解和操作,却无法反映碳绩效是能源消费、经济发展等多要素共同作用的结果,而全要素指标则可以弥补以上不足,因此全要素碳排放绩效指标更具现实意义。关于全要素碳排放绩效的测算,一般做法是将二氧化碳排放纳入到 DEA 模型中(Zhou et al., 2008)。^[9]在具体处理过程中,由于所

[基金项目] 本文是国家社会科学基金青年项目“碳排放约束下中国能源效率的区域差异及节能指标分解研究”(项目编号:12CJL066)、全国统计科研计划项目“碳减排约束下中国能源效率的统计测度、地区差异及分解方法研究”(项目编号:2012LY120)、山东省自然科学基金项目“地区垄断对碳约束下全要素能源效率的影响及对策研究”(项目编号:ZR2012GQ009)、山东省高校科研发展计划项目“山东省碳排放的地区差异、影响因素及碳减排政策研究”(项目编号:J12WG18)和山东财经大学博士基金项目“资源环境约束下中国经济绩效的区域差异及其影响因素研究”(项目编号:B13023)的阶段性成果。

[作者简介] 杨骞(1983—),女,山东泗水人,山东财经大学公共管理学院讲师,博士。主要研究方向:资源环境经济学。

选择的方法或者模型不同,往往导致测算结果存在较大差异。目前对二氧化碳排放的处理思路包括四种,其一是将 CO₂ 排放作为投入要素;其二是将 CO₂ 排放进行相应的变换(如取其倒数或者乘以 -1);其三是构建 Malmquist 二氧化碳排放绩效指数,如 Zhou et al. (2010)^[10]、王群伟等(2010)^[11];其四是基于方向性距离函数构建包含二氧化碳的曼奎斯特—卢恩伯格生产率指数(简称 MLPI)。前三种处理方法均建立在传统的 Shephard 距离函数上,其中将 CO₂ 作为投入或者作线性变换是将 CO₂ 排放视为可自由处置的要素,有悖于实际生产过程,并且可能破坏模型的凸性要求(王兵,2011)^[12]。第四种处理方法所涉及的方向性距离函数模型是近年在测算环境绩效时逐渐受到重视并被广泛应用的一种模型(Watanabe and Tanaka, 2007^[7];胡鞍钢等, 2008^[13];涂正革,2008^[14];王兵等,2011^[12]),该模型既考虑环境因素的影响,又继承了传统生产率分析技术的系统性和结构性框架,且不需要污染排放的价格数据(胡鞍钢等,2008)^[13]。目前对我国碳排放绩效测算的研究中,王群伟等(2010)^[11]、魏梅等(2010)^[15]均是在传统 Shephard 产出或投入距离函数的基础上进行的,运用 DEA 方向性距离函数模型对碳排放绩效进行测算的较少,在此基础上对我国碳排放绩效的区域差异及随机收敛性进行研究更是稀缺。

收敛分析方法是衡量变量区域差异的重要理论是经济增长理论中区域差异分析的重要工具,具体包括 β 收敛、 σ 收敛和随机收敛(stochastic convergence)三类。目前,收敛分析方法已突破仅研究区域经济增长的收敛性问题,而将研究空间扩展到对生产率以及能源、环境等领域的研究中。国内对二氧化碳排放收敛性的研究主要集中于对 β 收敛的检验(王群伟等,2010^[11]),而事实上, β 收敛方法具有诸多难以克服的缺陷。例如 β 收敛不能表明收敛或不平衡的动态过程; β 收敛检验主要是采用横截面数据,而横截面收敛检验具有不理想的规模性质,经常拒绝非收敛假说,从而使检验结果出现偏倚(Bernard, A. D. 和 Durlauf, S. N., 1995)^[2]。为避免 β 收敛检验所存在的以上问题,国外对二氧化碳排放收敛的研究大多是采用随机收敛的检验方法。Ro-

mer - Avila (2008) 采用 23 个 OECD 国家 1960 - 2002 年的数据,使用面板单位根对人均碳排放的收敛进行了检验,研究发现了较强的随机收敛证据。^[6] Barassi et al. (2008) 以 21 个 OECD 国家 1950 - 2002 年的数据为样本,利用单一样本时间序列和面板数据的单位根检验方法,研究发现 OECD 国家的人均二氧化碳排放并不存在随机收敛。^[1] Westerlund et al. (2008) 利用 16 个 OECD 国家 1870 - 2002 年数据和 28 个发达国家与发展中国家 1901 - 2002 年的数据,使用面板数据单位根检验方法,验证了人均二氧化碳排放是收敛的。^[8] 相比较 β 收敛,随机收敛更侧重研究动态环境下产出差距随时间变化的特征。

二、研究方法 with 模型

(一)碳排放绩效的测算方法

借鉴 Fare et al. (2007)^[5]、Zhou et al. (2008)^[9] 等对环境生产技术(environmental production technology)的研究,构造一个同时包含期望产出(Desirable Outputs)和非期望产出(Undesirable Outputs)的生产可能性集 T。在生产可能性集 T 中,假定资本(K)、劳动(L)和能源(E)三种要素的投入生产得到国内生产总值(期望产出 Y)和二氧化碳排放(非期望产出 C),则该生产过程可描述为: $T = \{(K, L, E, Y, C) : (K, L, E) \text{ can produce } (Y, C)\}$ 。

本文假设生产可能性集 T 有闭合、有界和凸性特征,投入要素和期望产出要素均满足强可处置性^②。除此之外,根据 Fare et al. (2007)^[5],环境生产技术需满足非期望产出的弱可处置(Weak Disposability)以及期望产出与非期望产出的“零结合”(Null jointness)。其中,非期望产出弱可处置指在给定要素投入水平下,减少非期望产出必须减少期望产出,即减少非期望产出是有成本的,用公式表示为:如果 $(K, L, E, Y, C) \in T$ 且 $0 \leq \theta \leq 1$, 则 $(K, L, E, \theta Y, \theta C) \in T$ 。期望产出和非期望产出的“零结合”性指期望产出的存在必然伴随着非期望产出的存在,用公式表示为:若 $(K, L, E, Y, C) \in T$ 且 $C = 0$, 则 $Y = 0$ 。

运用数据包络分析方法(DEA)可以将上述环境生产技术模型化为(1)式:

$$T = \{(K, L, E, Y, C)\} :$$

$$\sum_{s=1}^S \lambda_s K_s \leq K; \sum_{s=1}^S \lambda_s L_s \leq L; \sum_{s=1}^S \lambda_s Y_s \geq Y; \sum_{s=1}^S \lambda_s C_s = C \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^S \lambda_s = 1, \lambda_s \geq 0, s = 1, 2, \dots, S$$

在(1)式中, $1, \dots, s$ 表示地区, 第 s 个地区的投入、产出向量为 $(K_s, L_s, E_s, Y_s, C_s)$; λ_s 为权重; 非负的权重变量之和等于 1, 表示生产规模报酬是可变的; 合意产出和投入变量的不等式约束意味着合意产出和投入均是可自由处置的, 而非合意产出的等式约束, 则表示非合意产出的弱可处置性。

为了能够将期望产出和非期望产出联系起来, Chung 等(1997)^[3] 在环境生产技术框架下引入方向性距离函数 (Directional Distance Function, DDF)。参照 Färe et al. (2007)^[5], 定义包含碳排放的基于产出方向性距离函数, 如(2)所示:

$$\vec{D}_0(K, L, E, Y, C; g_Y, -g_C) = \sup \{ \beta : (Y + \beta g_Y, C - \beta g_C) \in Q(K, L, E, Y, C) \} \quad (2)$$

其中 β 为距离函数值, 表示决策单元观测值与其在生产前沿面上投影 $(Y + \beta g_Y, C - \beta g_C)$ 之间的距离。方向向量 (g_Y, g_C) 决定效率测度的方向, 即产出扩张或减少的方向。按照已有文献 (Färe et al., 2007^[5]; Chung et al., 1997^[3]) 的做法, 假设方向向量 $g = (Y, -C)$, 即要求同比例增加期望产出 Y 而减少非期望产出 C 。

为了研究碳排放绩效的动态变化特征, 本文将 Chung et al. (1997)^[3] 提出的 Malmquist - Luenberger (ML) 生产率指数进一步拓展, 构建 Malmquist 二氧化碳排放绩效指数用 MLC 表示, 测算公式如(3)所示。

$$MLC_s(t, t+1) = \left\{ \frac{1 + \vec{D}_0^t(K_s^t, L_s^t, E_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t)}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^{t+1}, L_s^{t+1}, E_s^{t+1}, Y_s^{t+1}, C_s^{t+1}; Y_s^{t+1}, -C_s^{t+1})} \times \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^t, L_s^t, E_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t)}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^{t+1}, L_s^{t+1}, E_s^{t+1}, Y_s^{t+1}, C_s^{t+1}; Y_s^{t+1}, -C_s^{t+1})} \right\}^{1/2} \quad (3)$$

MLC 大于(或小于)1, 表示碳排放绩效的增长(或下降)。碳排放绩效还可以进一步分解为效率改进指数 (EFFCH) 和技术进步指数 (TECH) 的乘积,

其中效率改进指数衡量的是技术落后者追赶技术先进者的速度, 若 EFFCH 大于(或小于)1, 表示技术效率的改善(或恶化); 技术进步指数衡量的是技术前沿的进步速度, 若 TECH 大于(或小于)1, 表示前沿技术的进步(或退步)。效率改进指数与技术进步指数的测算公式如(4)、(5)式所示。

$$EFCH_s(t, t+1) = \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^t, L_s^t, E_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t)}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^{t+1}, L_s^{t+1}, E_s^{t+1}, Y_s^{t+1}, C_s^{t+1}; Y_s^{t+1}, -C_s^{t+1})} \quad (4)$$

$$TECH_s(t, t+1) = \left\{ \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^t, L_s^t, E_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t)}{1 + \vec{D}_0^t(K_s^t, L_s^t, E_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t)} \times \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(K_s^{t+1}, L_s^{t+1}, E_s^{t+1}, Y_s^{t+1}, C_s^{t+1}, -C_s^{t+1})}{1 + \vec{D}_0^t(K_s^{t+1}, L_s^{t+1}, E_s^{t+1}, Y_s^{t+1}, C_s^{t+1}, -C_s^{t+1})} \right\} \quad (5)$$

为求解二氧化碳排放绩效及效率改进系数、技术进步系数, 需求解方向性距离函数的数值, 这就需要运用 DEA 方法求解以下线性规划:

$$\vec{D}_0^t(K_s^t, L_s^t, Y_s^t, C_s^t; Y_s^t, -C_s^t) = \max \beta$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{s=1}^S \lambda_s^t K_s^t \leq K^t; \sum_{s=1}^S \lambda_s^t L_s^t \leq L^t; \sum_{s=1}^S \lambda_s^t E_s^t \leq E^t; \sum_{s=1}^S \lambda_s^t Y_s^t \geq (1 + \beta) Y^t; \sum_{s=1}^S \lambda_s^t C_s^t = (1 - \beta) C^t; \lambda_s^t \geq 0, s = 1, \dots, S$$

(二) 随机收敛方法及检验模型

碳排放绩效的随机收敛检验表明的是: 在动态和长期环境下, 地区碳排放绩效之间的差距是否随时间变化的特征。如果两个地区的碳排放绩效之间的差距服从平稳的随机过程, 即能够构成一个稳定的且不随时间变化的差异均衡, 则存在随机收敛。如果碳排放绩效之间的差距存在固定趋势或者单位根过程, 则表明任何微小的外生冲击都会造成差距的持续扩大, 从而也就不存在随机收敛。本文借鉴 Evans and Krass(1996)^[4] 的随机收敛检验方法, 来研究我国碳排放绩效的随机收敛, 基本思路如下:

考虑 $1, 2, \dots, N$ 个地区, 如果这 N 个地区存在收敛, 当且仅当共同趋势 a_t 和参数 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 存在, 使得(6)式成立。其中 y_{it} 是第 i 个地区碳排放绩效的自然对数, a_t 是 N 个地区的共同趋势 (common

trend)。通过对(6)式进行平均,得到(7)式。其中,

$$\bar{y}_t = \sum_{i=1}^N y_{it}/N$$
 由于(7)式中的 a_{t+k} 是不可观察的,为了使估计可行,用(6)式减去(7)式得到(8)式。

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E_t(y_{i,t+k} - a_{t+k}) \mu_i \quad i = 1, 2 \cdots N \quad (6)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E_t(\bar{y}_{t+k} - \bar{a}_{t+k}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (7)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E_t(y_{i,t+k} - \bar{y}_{t+k}) \mu_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (8)$$

当且仅当对每一个地区,有 $y_{i,t+k} - \bar{y}_{t+k}$ 是平稳序列时,称这 N 个地区的碳排放绩效存在随机收敛。因此检验 N 个地区碳排放绩效的随机收敛就变为检验面板数据 $y_{i,t} - \bar{y}_t$ 中所有序列是否平稳。

$$RMLC_{it} = \ln MLC_{it} - \ln AMLC_t \quad (9)$$

在具体检验过程中,将各个省市碳排放绩效的自然对数($\ln MLC_{it}$)减去平均碳排放绩效的自然对数($\ln AMLC_t$)后的差值命名为相对碳排放绩效,则对碳排放绩效随机收敛检验就成为对各省相对碳排放绩效($RMLC_{it}$)所构成面板数据的平稳性检验,如(9)式。根据 Evans and Krass(1996)^[4] 的定义,如果 $RMLC$ 平稳或者不存在单位根,则表明长期中各地区碳排放绩效将趋于某一稳定水平,表现为随机收敛的过程;反之,如果 $RMLC$ 不平稳或者存在单位根,则表明各地区碳排放绩效为随机发散。

按照以上思路,本文将分别对我国碳排放绩效的全局性随机收敛和俱乐部随机收敛进行检验。在全局性随机收敛检验时,以全国平均碳排放绩效作为 $AMLC$,对所有省份碳排放绩效、不同区域平均碳排放绩效与全国平均碳排放绩效的差所构成的面板数据进行平稳性检验;在俱乐部随机收敛检验时,分别按照三大区域、八大区域两种地域单元划分方法,以各区域的平均碳排放绩效作为 $AMLC$,对各区域内部各个省份碳排放绩效与其在区域平均碳排放绩效的差所构成的面板数据进行平稳性检验。

三、碳排放绩效的测算及结果分析

(一) 数据选择及处理

为测度各省份二氧化碳排放绩效,本文搜集了1995 - 2009 年全国 28 个省、市、自治区^③ 的投入产出数据,投入要素包括资本投入、劳动力投入和能源投入,产出要素包括期望产出(国民生产总值)和非

期望产出(二氧化碳排放)。下面具体说明各类数据的选择及处理情况。

1. 资本投入

采用资本存量作为各地区的资本投入指标。资本存量数据无法直接从相关统计年鉴获取,一般采用推算法进行估算。本文资本存量数据采用“永续盘存法”,其中 1995 - 2006 年资本存量数据来源于单豪杰(2008) 的研究成果^[16],2007 - 2009 年资本存量数据根据单豪杰(2008)^[16] 方法进行估算所得。在资本存量估算中,需要用到各省 2007 - 2009 年资本形成总额和固定资产投资价格指数两类数据,它们均来自于 2008 - 2010 年《中国统计年鉴》。资本存量数据的单位为亿元,且均以 1952 年不变价格进行了调整。

2. 劳动投入、能源投入与国民生产总值

采用各省年初、年末就业人数的算术平均值作为劳动力投入指标,单位为万人,数据来自于 1996 - 2010 年《中国统计年鉴》。采用各省能源消费量作为能源投入指标,各省能源消费量数据均来自于历年《中国能源统计年鉴》,且 2005 年后的能源消费量数据是根据 2010 年《中国能源统计年鉴》调整后的数据,单位为万吨标准煤。为与资本存量保持一致,各省国民生产总值均以 1952 年作为基期,单位为亿元,数据来源于《新中国 60 年统计资料汇编》。

3. 二氧化碳排放量

以煤炭、原油和天然气三种一次能源消费量为基准来估算中国分省的二氧化碳排放量。各省的一次能源消费根据《中国能源统计年鉴》中“能源消费”及“地区能源平衡表”的相关数据获得。在具体估算中,利用 2006 年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)提供的参考方法,二氧化碳排放总量估算公式如(10)所示:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^3 CO_{2,i} = \sum_{i=1}^3 E_i \times NCV_i \times \delta_i \quad (10)$$

其中, CO_2 为二氧化碳排放量, $i = 1, 2, 3$ 分别表示三种一次能源(煤炭、原油、天然气), E 代表它们的消耗量, NCV 平均低位发热量, δ 为有效二氧化碳碳排放系数。

(二) 结果分析

以地区国民生产总值作为期望产出变量,二氧

化碳排放作为非期望产出变量,资本存量、人口和能源消费量作为投入变量,根据第二部分测算方法,得

到 1995 – 2009 年全国 28 个省市自治区(以下简称省份)的碳排放绩效,如表 1 所示。

表 1 1995 – 2009 年中国 28 个省份碳排放绩效变化及排名									
省份	EFFCH	TECH	MLC	排名	省份	EFFCH	TECH	MLC	排名
北京	1.0000	1.0509	1.0509	5	山东	1.0021	1.0590	1.061	2
天津	1.0165	1.0293	1.0464	7	河南	0.9873	1.0456	1.0323	19
河北	0.9886	1.0389	1.0271	23	湖北	0.9947	1.0424	1.0369	15
山西	0.9980	1.0425	1.0404	12	湖南	0.9968	1.0478	1.0444	10
内蒙古	0.9989	1.0368	1.0357	17	广东	0.9988	1.0559	1.0546	4
辽宁	0.9998	1.0376	1.0374	14	广西	1.0000	1.0336	1.0336	18
吉林	0.9992	1.0429	1.0420	11	四川	0.9977	1.0329	1.0306	20
黑龙江	0.9969	1.0489	1.0456	9	贵州	0.9963	1.0497	1.0458	8
上海	1.0073	1.0422	1.0498	6	云南	1.0000	0.8914	0.8914	28
江苏	1.0045	1.0640	1.0687	1	陕西	0.9924	1.0368	1.0290	21
浙江	0.9895	1.0342	1.0234	25	甘肃	0.9968	1.0436	1.0403	13
安徽	1.0017	1.0541	1.0558	3	青海	1.0000	1.0087	1.0087	27
福建	0.9939	1.0302	1.0240	24	宁夏	1.0000	1.0144	1.0144	26
江西	0.9893	1.0480	1.037	16	新疆	0.9902	1.0381	1.0279	22

资料来源:根据本文计算结果整理所得。

根据表 1,样本期间各省碳排放绩效都有不同程度的增长,其中增长幅度较多的省份主要集中在东部地区,包括江苏、山东、安徽、广东、北京、上海等,增长幅度较少的省份主要集中在西部地区,包括宁夏、青海、云南等。从碳排放绩效的分解情况来看,绝大多数省份碳排放绩效的增长主要是由技术进步导致的,而天津、山东等 5 个省份碳排放绩效的

增长是技术效率提高和技术进步的双重贡献。具体来看,除云南外所有省份的技术进步指数都有所提升,而技术效率在各省份存在不同情况的变动,如天津、山东等 5 个省份的技术效率有所提高,山西、内蒙古等 18 个省份的技术效率有所降低,北京等 5 个省份的技术效率保持不变。

表 2 1995 – 2009 年全国碳排放绩效变化及分解							
年份	EFFCH	TECH	MLC	年份	EFFCH	TECH	MLC
1995/1996	1.0036	1.0435	1.0097	2003/2004	0.9859	1.0621	1.0259
1996/1997	1.0058	1.0406	1.0362	2004/2005	0.9984	1.0305	1.0272
1997/1998	1.0025	1.0389	1.0279	2005/2006	0.9914	1.0509	1.0224
1998/1999	0.9929	1.0441	1.0328	2006/2007	0.9970	1.0428	1.0391
1999/2000	0.9871	1.0477	1.0324	2007/2008	0.9939	1.0449	1.0337
2000/2001	0.9863	1.0569	1.0342	2008/2009	0.9958	1.0329	1.0063
2001/2002	0.9958	1.0409	1.0286	平均值	0.9979	1.0381	1.0279
2002/2003	1.0346	0.9601	1.0354	累计值	0.9704	1.6873	1.4709

资料来源:根据本文计算结果整理所得。

表 2 则是 1995 – 2009 年全国 28 个省份碳排放绩效的动态变动及分解。根据表 2,1995 – 2009 年全国碳排放绩效平均增长幅度为 2.79%,累计增长幅度为 47.09%。样本期间全国碳排放绩效的增长主要是来自于技术进步而非效率变化,其中技术进

步平均增长幅度为 3.81%、累计增长幅度为 68.73%,技术效率平均下降幅度为 0.21%、累计下降幅度为 2.96%。从变动趋势来看,样本期间碳排放绩效增长除在 1995 年和 2009 年较低外,其他年份变动幅度不大,而技术效率与技术进步除在 2002 –

2003 年间分别出现陡升与陡降外其他年份变动趋势不明显。

四、碳排放绩效的随机收敛检验

在测算各省份碳排放绩效的基础上,本部分首先对我国碳排放绩效的区域差异进行整体分析,其次运用 IPS、ADF – Fisher 和 PP – Fisher 单位根检验方法,对全国以及各区域二氧化碳绩效进行随机收敛检验。

(一)区域差异分析

表3 报告了1995 – 2009 年我国东中西三区域^④碳排放绩效及其分解的平均值与累计值。根据表3,样本期间东中西三大区域碳排放绩效均有所改善,其中东部地区碳排放绩效平均增长 4. 44%, 累计增长 83. 4%, 是三个区域中增长幅度最大的;其次是中部地区,碳排放绩效平均增长 4. 1%, 累计增长 76. 1%;西部地区碳排放绩效增长幅度最小,平均增长率为 1. 1%, 累计增长率为 16. 8%。从三个区域碳排放绩效的分解来看,东部地区技术效率平均值为 1,没有构成对碳排放绩效增长的影响,技术

进步平均增长幅度为 4. 4%,即为碳排放绩效的平均增长幅度;中部地区和西部地区碳排放绩效的增长是技术进步与技术效率下降共同作用的结果,其中技术效率出现了不同程度下降,但技术进步的改善程度大大高于技术效率的下降程度,最终导致了碳排放绩效的增长。

为进一步揭示各地区碳排放绩效的省际差异,本文分别测算全国及东中西三大区域碳排放绩效的变异系数。经测算,1995 – 2009 年间西部地区变异系数最大,其次是东部地区,中部地区变异系数最小,西部地区变异系数高于全国平均水平,而东部地区 and 中部地区变异系数低于全国平均水平。由此表明西部地区省际间碳排放绩效差异最大,中部地区省际间碳排放绩效差异最小,东部地区省际间碳排放绩效差异介于西部和中部之间。根据变异系数的变动,东部地区和中部地区的变异系数随时间变动的趋势不明显;而西部地区 and 全国的变异系数呈现随时间推移而趋于缩小的态势,由此表明西部地区 and 全国的碳排放绩效差异存在一定收敛特征。

年份	东部			中部			西部		
	EFFCH	TECH	MLC	EFFCH	TECH	MLC	EFFCH	TECH	MLC
1995/1996	1. 009	1. 042	1. 051	1. 012	1. 047	1. 059	0. 989	1. 024	1. 012
1996/1997	1. 004	1. 050	1. 054	1. 009	1. 043	1. 052	1. 003	1. 014	1. 018
1997/1998	1. 005	1. 046	1. 051	1. 002	1. 041	1. 044	1. 000	1. 007	1. 007
1998/1999	0. 992	1. 050	1. 042	0. 989	1. 048	1. 037	0. 999	1. 009	1. 007
1999/2000	0. 988	1. 053	1. 040	0. 982	1. 051	1. 032	0. 994	1. 015	1. 008
2000/2001	0. 986	1. 061	1. 046	0. 989	1. 059	1. 047	0. 987	1. 020	1. 006
2001/2002	0. 996	1. 039	1. 035	0. 994	1. 046	1. 040	0. 994	1. 022	1. 015
2002/2003	1. 032	1. 014	1. 044	1. 032	1. 005	1. 036	1. 032	0. 970	1. 001
2003/2004	0. 994	1. 053	1. 046	0. 984	1. 058	1. 042	0. 982	1. 034	1. 015
2004/2005	0. 997	1. 042	1. 039	0. 995	1. 041	1. 036	1. 001	1. 010	1. 011
2005/2006	1. 004	1. 049	1. 053	0. 982	1. 056	1. 037	0. 987	1. 023	1. 010
2006/2007	1. 001	1. 046	1. 047	0. 992	1. 052	1. 043	0. 999	1. 020	1. 020
2007/2008	0. 998	1. 037	1. 035	0. 989	1. 050	1. 038	0. 993	1. 022	1. 015
2008/2009	0. 998	1. 039	1. 037	0. 994	1. 041	1. 035	0. 998	1. 014	1. 011
平均值	1. 000	1. 044	1. 044	0. 996	1. 046	1. 041	0. 997	1. 015	1. 011
累计值	1. 003	1. 835	1. 834	0. 945	1. 864	1. 761	0. 958	1. 223	1. 168

资料来源:作者绘制。

(二)随机收敛检验

考虑到样本时间跨度较短的情况下,单变量单位

根检验存在“检验势”过低的问题,即在备选假设为真时,正确地拒绝了原假设的概率较低,因此选择采

用面板单位检验模型进行随机收敛检验。由于不同地区碳排放绩效存在较大差异,故采用异质面板单位根检验模型,包括 Im,Pesaran & Shin、ADF – Fisher 和 PP – Fisher,以上三种检验模型的原假设均是所有序列都存在单位根。其中,IPS 检验模型考虑了残差的异方差和序列相关性,允许面板数据中的各截面序列具有不同的单位根,且在数据较短的情况下依然具有很强的检验能力;ADF 和 PP 是传统意义上使用较成熟的面板单位根检验模型。同时采用三种不同的模型可以保证研究结论的稳健性。

首先以全国平均碳排放绩效作为 AMLC 进行全局性的随机收敛性检验。IPS、ADF 和 PP 三种检验方法结果均显示,全国所有省份所构成的面板数据在 1% 的显著性水平下拒绝了存在单位根的原假设(如表 5 第 2 行所示),这意味着我国碳排放绩效存在全局性随机收敛特征,即在长期内二氧化碳排放绩效的

总体差异将不断缩小,最终趋于稳态水平。由于面板单位根检验结果常常带有一定的模糊性,如果部分序列平稳、其余序列存在单位根的情况同样也会导致原假设被拒绝。鉴于此,有必要进一步使用时间序列单位根检验 KPSS 模型对各省份碳排放绩效的随机收敛性进行检验,检验结果如表 4 所示。根据表 4,北京、天津、河北、江苏、浙江、广东、辽宁、黑龙江、山西、陕西、河南、湖南、安徽、江西、宁夏和新疆等 16 个省份接受序列平稳原假设,即碳排放绩效存在随机收敛;山东、上海、福建、吉林、内蒙古、湖北、广西、四川、贵州、云南、甘肃、青海等 12 个省份拒绝序列平稳原假设,即碳排放绩效不存在随机收敛。根据以上,通过时间序列单位根检验,全国 28 个省份中有一半以上省份的碳排放绩效存在随机收敛,其余省份不存在随机收敛,这与面板单位根检验得到的存在全局性随机收敛的结论存在一致。

表 4 各省份时间序列单位根 KPSS 检验							
省份	LM 统计值	省份	LM 统计值	省份	LM 统计值	省份	LM 统计值
北京	0.163908	广东	0.240431	山西	0.276626	四川	0.386174 *
天津	0.134066	广西	0.372149 *	陕西	0.145681	贵州	0.441416 *
河北	0.153379	福建	0.492107 **	河南	0.213800	云南	0.371618 *
山东	0.558512 **	辽宁	0.291303	湖北	0.468042 **	甘肃	0.436191 *
上海	0.380397 *	吉林	0.449301 *	湖南	0.125172	青海	0.425513 *
江苏	0.328668	黑龙江	0.197885	安徽	0.254691	宁夏	0.190962
浙江	0.110648	内蒙古	0.381078 *	江西	0.328668	新疆	0.174443

注:***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下拒绝原假设。

为了研究我国碳排放绩效在区域之间的变化趋势,分别按照三区域和八区域^⑤两种地域划分标准,将各个区域作为一个整体,以全国平均碳排放绩效作为 AMLC 进行随机收敛检验,检验结果如表 5 中第 3、4 行所示。根据表 5,三大区域所构成的面板数据在 5% 的显著性水平下拒绝了存在单位根的原假设,八区域所构成的面板数据在 1% 的显著性水平下拒绝了存在单位根的原假设。这表明无论以三区域还是八区域作为划分标准,我国碳排放绩效区域间的差异正在逐渐缩小。

为了检验各个区域的碳排放绩效在长期中是否趋向于本区域的平均碳排放绩效,即检验我国碳排放绩效是否存在俱乐部随机收敛特征,本文依然是按照三大区域和八大区域两种地域划分标准进行检验。在三区域划分标准下,分别以三大区域各自的

平均碳排放水平作为 AMLC 进行随机收敛检验,结果显示(如表 5 中第 5 至 7 行):东中西三大区域均拒绝了存在单位根的原假设,这表明三大区域均存在俱乐部随机收敛,即长期内三大区域的碳排放绩效差异均将随时间推移而趋于各自的稳态水平,从而形成各自区域的差异均衡。在八区域划分标准下,分别以八大区域各自的平均碳排放水平作为 AMLC 进行随机收敛检验,结果显示(如表 5 中第 8 至 15 行):除南部沿海接受了存在单位根的原假设,其他七大区域均拒绝了存在单位根的原假设,这表明除南部沿海外的其他七大区域均存在俱乐部随机收敛特征,在长期内各区域的碳排放绩效差异将会随时间推移而趋于各自的稳态水平,从而形成差异均衡;而南部沿海地区的碳排放绩效差异长期内不会自动达到稳态水平。

表 5 面板单位根检验结果

区域		IPS	ADF – Fisher	PP – Fisher	结论
全国		– 4. 22869 ***	116. 072 ***	138. 468 ***	平稳
全国分三区域		– 2. 04476 **	17. 0102 ***	0. 0092 ***	平稳
全国分八区域		– 5. 09475 ***	53. 398 ***	66. 8343 ***	平稳
三区域	东部	– 3. 95400 ***	52. 8264 ***	52. 5218 ***	平稳
	中部	– 1. 85678 **	34. 1015 **	48. 2560 ***	平稳
	西部	– 3. 57624 ***	40. 9801 ***	47. 5275 ***	平稳
八区域	北部沿海	– 1. 95407 **	17. 2127 **	22. 2408 ***	平稳
	东部沿海	– 1. 55414 *	11. 2255 *	10. 3861	平稳
	南部沿海	– 0. 44882	4. 15905	3. 47791	单位根
	黄河中游	– 2. 74631 ***	24. 3241 ***	29. 6378 ***	平稳
	长江中游	– 3. 34828 ***	25. 5409 ***	36. 2512 ***	平稳
	东北地区	– 2. 71547 ***	18. 3750 ***	24. 8898 ***	平稳
	西南地区	– 2. 35627 ***	22. 9765 ***	18. 9209 **	平稳
	西北地区	– 3. 75104 ***	30. 6472 ***	42. 8463 ***	平稳

注：***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性。

五、结论与政策启示

在当前工业化和城市化加速发展的关键时期，二氧化碳减排任务要与经济发展任务“结合”起来。本文用二氧化碳排放绩效来衡量碳减排与经济发展水平之间的“结合”程度。首先，以二氧化碳排放作为“坏”产出、GDP 作为“好”产出，运用环境生产技术框架下的方向性距离函数模型，对 1995 – 2009 年全国 28 个省区市的二氧化碳排放绩效进行测算；其次，分析了全国及三大区域二氧化碳排放绩效的动态演变规律和地区差异；最后，运用区域经济增长的随机收敛方法对我国二氧化碳排放绩效进行检验。研究结论如下：（1）1995 – 2009 年间绝大多数省份的二氧化碳排放绩效有不同程度增长，其中增长幅度较大的省份主要集中在东部地区，增长幅度较小的省份主要集中在西部地区。（2）从全国和绝大多数省份来看，技术进步是导致碳排放绩效增长的主要因素，而技术效率呈现不断恶化之势。（3）随机收敛检验结果显示，我国二氧化碳排放绩效存在全局性随机收敛特征，其中北京等 16 个省份存在随机收敛，山东等 12 个省份不存在随机收敛；区域间碳排放绩效的差异均在不断缩小；区域内部存在俱乐部随机收敛特征。

上述结论在政策层面具有重要意义：第一，加快二氧化碳减排技术的创新，发挥技术进步对二氧化

碳排放绩效提升的促进作用，同时通过优化资源配置等手段扭转技术效率对碳排放绩效提升的反向作用。第二，政府在对西部地区实施扶贫发展政策时，应格外重视节能减排的约束，大力通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发、排放权交易等多种手段，尽可能地减少高碳能源消耗、减少二氧化碳排放，以促进西部地区把握低碳转型的机遇，追赶东、中部地区，实现碳排放绩效的提升。第三，应加大对二氧化碳减排规制力度，制定科学有效的二氧化碳减排政策，充分发挥政府宏观收敛机制，从而缩小二氧化碳排放绩效的地区差距，最终实现二氧化碳减排和经济发展的双赢。

【注】

- ① 根据 IEA(2009) 的统计，2007 年中国二氧化碳排放量已超过美国，成为全球二氧化碳排放量最多的国家。
- ② 要素可自由处置是指在生产过程中要素能够不受限制地增加或者减少。
- ③ 海南和西藏因数据缺失过多而不包括在内，重庆则并入四川一起统计。
- ④ 其中东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西；中部地区包括山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南；西部地区包括云南、四川（含重庆）、贵州、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。
- ⑤ 东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江；北部沿海地区包括

北京、天津、河北、山东;东部沿海地区包括上海、江苏、浙江;南部沿海地区包括广东、福建;黄河中游地区包括内蒙古、山西、陕西、河南;长江中游地区包括湖北、湖南、江西、安徽;西南地区包括四川(含重庆)、贵州、云南、广西;西北地区包括甘肃、宁夏、青海、新疆。

参考文献:

[1] Barassi, M. R. , Cole, M. A. , Elliott, R. J. R. Stochastic Divergence or Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions; Re - examining the Evidence. Environmental and Resource Economics, 2008, 40(1): 121 - 137.

[2] Bernard, A. B. , S. N. Durlauf. Convergence in International Output, Journal of Applied Econometrics, 1995, 10(2): 97 - 108.

[3] Chung, Y. H. , R. Fare, S. Grosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach, Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229 - 40.

[4] Evans, P. , G. Karras. Convergence Revisited, Journal of Monetary Economics, 1996, 37(2): 249 - 265.

[5] Färe, R. , S. Grosskopf, and Carl A. , Pasurka. Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions, Energy, 2007, 32(7): 1055 - 1066.

[6] Romer - Avila, D. Convergence in Carbon Dioxide Emissions among Industrialized Countries Revisited. Energy Economics, 2008, 30(5): 2265 - 2282.

[7] Watanabe, M. , K. Tanaka. Efficiency Analysis of Chinese Industry: A Directional Distance Function Approach, Ener-

gy Policy, 2007, 35(12): 6323 - 6331.

[8] Westerlund, J. , Basher, S. A. Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data, Environmental and Resource Economics, 2008, 40(1): 109 - 121.

[9] Zhou P. , Ang B. W. , Poh K. L. A Survey of Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Studies, European Journal of Operational Research, 2008, 189(1): 1 - 18.

[10] Zhou P. , Ang B. W. , Han J. Y. Total Factor Carbon Emission Performance: A Malmquist Index Analysis, Energy Economics, 2010, 32(1): 194 - 201.

[11] 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, (01).

[12] 王兵, 张枝辉, 张华. 环境约束下中国省际全要素能源效率实证研究[J]. 经济评论, 2011, (04).

[13] 胡鞍钢, 郑京海. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999 - 2005) [J]. 经济学(季刊), 2008, (03).

[14] 涂正革, 肖耿. 环境约束下的中国工业增长模式研究[J]. 世界经济, 2009, (11).

[15] 魏梅, 曹明福, 江金荣. 生产中碳排放效率长期决定及其收敛性分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, (09).

[16] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952 - 2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (10).

(责任编辑: 郝 涛)

