

# 中国地区二氧化碳排放的随机收敛研究

## ——基于两类碳排放指标的再检验

杨 骞 刘华军\*

**摘要:** 本文基于随机收敛的视角,采用人均碳排放和碳强度两类碳排放指标,运用多种面板单位根检验和单变量单位根检验方法,对中国地区二氧化碳排放的收敛性进行了实证检验。研究发现,两类碳排放指标的面板单位根检验结果均表明中国二氧化碳排放未呈现出全局性随机收敛趋势。同时,单变量单位根检验也表明没有任何一个地区的相对碳强度和相对人均碳排放序列呈现确定性收敛趋势。此外,两类碳排放指标在三大地区和八大地区内部均未呈现俱乐部随机收敛。本研究与结论为我国政府制定碳减排政策提供了理论支撑,同时也强调了我国碳减排政策制定的区域差异性。

**关键词:** 碳排放 随机收敛 单位根检验 俱乐部收敛

### 一、引言

二氧化碳减排目标的制定标志着低碳经济发展已经成为中国应对气候变化的重大战略。我国幅员广阔,二氧化碳排放在地域分布上呈现出明显的地区差异(许广月,2010;刘华军、赵浩,2012),那么中国地区二氧化碳排放是否存在收敛,换言之,二氧化碳排放的地区差异是否会随着时间的推移而呈现不断缩小的趋势。对以上问题的解答,将有助于我们精确掌握中国二氧化碳排放的演变规律,从而为合理分解碳减排任务、制定差异性区域碳减排政策提供重要参考。

从国外关于二氧化碳排放收敛的研究来看,部分文献利用截面数据回归和面板数据回归方法研究了二氧化碳排放的 $\beta$ 收敛(Strazicich and List, 2003; 等等);少量文献利用简单的指标如变异系数、基尼系数等检验了二氧化碳排放的 $\sigma$ 收敛(Aldy, 2006; 等等)。尽管传统的截面和面板回归的收敛检验方法是直接根据传统的新古典经济增长模型推导出来的,但是在实际应用过程中仍存在诸多的局限,比如 $\beta$ 收敛不能表明收敛或不平衡的动态过程(Tsionas, 2002);而且 $\beta$ 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(Quah, 1993; Bernard and Durlauf, 1996; Evans and Karras, 1996)。为克服 $\beta$ 收敛检验所存在的局限,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(Romero - Ávila, 2008; Westerlund and Basher, 2008; Lee et al., 2008; Nourry, 2009; Lee and Chang, 2009; Barassi et al., 2011; 等等)。

与国外研究相比,国内研究主要集中于二氧化碳的 $\sigma$ 收敛、 $\beta$ 收敛和俱乐部收敛(许广月,2010;林伯强、黄光晓,2011;杨骞、刘华军,2012;等等),而缺少对地区二氧化碳排放随机收敛的研究。从目前国内研究进展看,由于在收敛检验方法、碳排放指标选取、样本数据等多个方面存在较大差异,对二氧化碳收敛性的检验并未取得一致结论。这些研究大致可以分为三类:一类是支持二氧化碳排放收敛。例如,林伯强和黄光晓

\* 杨骞,山东财经大学公共管理学院,邮政编码:250014,电子信箱:yangqian4787@sina.com;刘华军,山东财经大学经济学院,邮政编码:250014,电子信箱:huajun99382@163.com。

本文得到国家自然科学基金青年项目“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)、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)以及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:BI3023)的资助。作者感谢匿名审稿专家对本文提出的建设性修改意见,当然文责自负。

(2011) 引入空间变量,以人均碳排放和碳强度两类指标,采用截面回归方法研究了我国二氧化碳排放的  $\beta$  收敛和俱乐部收敛,其研究结论不仅支持  $\beta$  绝对收敛而且支持  $\beta$  条件收敛以及三大地区的俱乐部收敛。第二类是不支持二氧化碳排放收敛。例如,杨骞和刘华军(2012)以碳强度为指标,运用面板数据和截面数据对中国二氧化碳排放的收敛性进行了检验,研究发现 1995-2009 年中国碳强度不存在  $\beta$  绝对收敛和条件收敛,同时也无明显的  $\sigma$  收敛特征。刘华军和赵浩(2012)以碳强度为排放指标,利用 Dagum(1997)基尼系数测算了 1995-2009 年中国二氧化碳排放的地区差距及其演变趋势,研究发现中国二氧化碳排放的地区差距在样本考察期内呈增大趋势。第三类是检验方法或研究时期的不同而得出不同的收敛结论。例如,许广月(2010)采用 1995-2007 年的省际面板数据,以人均碳排放作为排放指标,发现我国人均碳排放存在  $\sigma$  收敛;截面回归表明人均碳排放不存在  $\beta$  绝对收敛但存在  $\beta$  条件收敛,且东部、中部和西部地区均存在俱乐部收敛。陈青青和龙志和(2011)采用空间计量模型和截面回归方法研究了我国二氧化碳排放的收敛性,结果表明 1997-2007 年中国区域二氧化碳排放不存在  $\beta$  绝对收敛但存在条件收敛;而 1997-2002 年同时存在  $\beta$  绝对收敛和条件收敛。高广阔和马海娟(2012)以人均碳排放量为指标的研究支持了二氧化碳排放的  $\beta$  绝对收敛和条件收敛,但不支持俱乐部收敛。

鉴于国内研究对中国地区二氧化碳排放的收敛性问题没有得出一致的结论,以及随机收敛方法的缺失。本文在利用中国分省 1995-2011 年能源消费数据测算二氧化碳排放总量的基础上,利用随机收敛方法,采用碳强度和人均碳排放量两类指标对中国地区二氧化碳排放的收敛性进行经验检验。为了确保研究结论更加稳健,我们采用了多种面板单位根检验技术(IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher 以及 Hadri 检验)和多种单变量单位根检验技术(ADF、PP、KPSS、DF-GLS、MZ $_{\alpha}$  检验)。此外,在检验二氧化碳排放全局性随机收敛的同时,我们分别按照三大地区和八大地区的区域划分方法,对二氧化碳排放是否存在俱乐部随机收敛进行经验检验。

## 二、模型、方法与样本数据

### (一) 模型

随机收敛能够检验一个变量对另一个变量在长期内是否存在持续冲击,从而避免短期内可能存在的收敛与非收敛之间的状态。在目前对二氧化碳排放随机收敛的研究中,大都采用 Carlino 和 Mills(1993,1996)所提出的单位根检验方法。根据检验结果,若存在单位根则二氧化碳排放的地区之间是发散的;反之,若不存在单位根即平稳,则表明二氧化碳在地区之间是收敛的。

参考 Carlino 和 Mills 的方法,我们假设每个地区的相对碳排放(采用对数)在长期趋向于它们各自的补偿差异均衡水平(compensating-differentials-equilibrium level),某一地区在时间  $t$  的相对碳排放  $RCE_t$ (relative carbon emission)可写为  $RCE^e$  与  $u_t$  之和,如式(1)所示,其中  $RCE^e$  表示不随时间变化的均衡差异, $u_t$  表示相对碳排放对均衡水平的偏离。

$$RCE_t = RCE^e + u_t \quad (1)$$

为允许条件收敛的存在,我们假定  $RCE^e$  不等于 0,并将 Baumol(1986)研究中的收敛假设进行动态化,则  $u_t$  可分解为一个确定性线性趋势和一个随机过程,如公式(2)。在式(2)中  $v_0$  表示相对碳排放对均衡水平的初始偏离, $\beta$  表示确定性收敛速度。将(2)式代入(1)式得到公式(3)。在式(3)中, $\alpha = RCE^e + v_0$ 。如果  $RCE_t$  不具有单位根,则表明冲击对  $RCE_t$  产生的影响只是暂时的, $RCE_t$  在长期仍将返回其补偿差异的均衡水平,因而该地区的二氧化碳排放呈现随机收敛特征。反之,则该地区的二氧化碳排放不存在随机收敛特征。

$$u_t = v_0 + \beta t + v_t \quad (2)$$

$$RCE_t = \alpha + \beta t + v_t \quad (3)$$

### (二) 实证方法

在实证检验中,需要首先测算相对碳排放  $RCE$ 。根据 Carlino 和 Mills(1993,1996)对相对收入的定义,相对碳排放可以用第  $n$  个地区的碳排放的自然对数减去所有地区平均碳排放的自然对数,公式如(4)式所示。

$$RCE_{n,t} = y_{n,t} - \bar{y}_t = \ln CE_{n,t} - \ln(\overline{CE}_t) = \ln\left(\frac{CE_{n,t}}{\overline{CE}_t}\right) \quad (4)$$

根据随机收敛模型,检验相对碳排放的随机收敛即是检验相对碳排放是否存在单位根。单位根检验包括单变量单位根检验和面板数据单位根检验。本文将分别采用这两类单位根检验方法,对中国地区二氧化碳

碳排放的随机收敛进行全面检验。

具体检验过程我们采取如下两个步骤:首先进行面板数据单位根检验。在样本时间跨度较短的情况下,单变量单位根检验存在着“势值”过低的问题,即当备选假设为真时,正确地拒绝了原假设的概率较低。作为改进,面板单位根检验较传统单变量检验拥有了更高的势值。在面板单位根检验中,我们分别采用 IPS、ADF - Fisher 和 PP - Fisher 检验方法,同时采用 Hadri 检验方法作为稳健性补充<sup>①</sup>。其次进行单变量单位根检验。如果面板单位根检验结果拒绝了单位根的原假设,并不能确保所有序列均平稳,因为如果部分序列平稳、其余序列存在单位根,同样也会导致原假设被拒绝。因此面板数据单位根检验结果的解释实际上带有一定的模糊性。为了避免面板单位根检验的局限,同时进一步掌握在所有序列中哪些序列平稳、哪些序列具有单位根,我们需要采用单变量单位根检验。通常单变量时间序列单位根检验有多种方法,如 ADF、PP、KPSS、DF - GLS、MZ<sub>α</sub>。本文将分别采用以上五种方法进行单变量单位根检验,以期获得稳健的结果。

### (三) 样本数据

在实证检验中我们选取了人均碳排放和碳强度两类二氧化碳排放指标,这两类指标涉及到三类数据,分别是:分省二氧化碳排放量、地区生产总值和人口数。其中,分省二氧化碳排放量没有公开数据,目前文献中对二氧化碳排放量的测算主要有两大类,其一是根据一次能源消费量和联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)为《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》所制定的《国家温室气体清单指南》第二卷(能源)第六章提供的参考方法来进行计算(如陈诗一,2009;刘华军、闫庆悦,2011;等等)。其二是根据能源消费量乘以二氧化碳转换率来计算(如李小平、卢现祥,2010),其中单位能源的二氧化碳转换率选取世界资源研究所发布的碳分析指标工具(Carbon Analysis Indicators Tool,简称CAIT)所提供的转换率(2.13吨/吨标准煤)。我们采用后者的方法,计算了中国分省1995 - 2011年的能源消费产生的二氧化碳排放量<sup>②</sup>,其中分省能源消费总量来源于历年《中国能源统计年鉴》。此外,地区生产总值和分省人口数均来源于历年《中国统计年鉴》,其中地区生产总值根据2000年的价格进行消胀处理,人口数则依据两年年底数进行了平均作为当年人口数。另外由于数据缺失,样本中不包括西藏及港、澳、台地区,重庆并入四川(合并后仍称为四川)。

## 三、二氧化碳排放的全局性随机收敛检验

### (一) 全局性随机收敛的面板单位根检验

根据碳排放随机收敛检验模型,采用多种面板单位根检验方法,我们分别对省际相对人均碳排放和相对碳强度所组成的面板数据进行了单位根检验,表1报告了两类排放指标的检验结果。首先,从相对碳强度的面板单位根检验结果看,IPS、ADF - Fisher、PP - Fisher 检验均通过了1%的显著性水平检验,所有检验结果均拒绝了存在单位根的原假设,Hadri 检验通过了1%的显著性水平检验。以上表明,相对碳强度的 IPS、ADF - Fisher 和 PP - Fisher 检验结果均支持全局性随机收敛,而 Hadri 检验结果却否定了这一结论。其次,从人均碳排放的面板单位根检验结果看,ADF - Fisher 检验通过了5%的显著性水平检验,而 IPS、PP - Fisher 检验通过了仅10%的显著性水平检验,尽管显著性水平低于相对碳强度,但是也拒绝了存在单位根的原假设。而相对人均碳排放的 Hadri 检验同相对碳强度一样,也在1%的显著性水平下拒绝了平稳性的原假设。因此,根据不同面板单位根的检验结果,我们难以做出相对碳强度和相对人均碳排放收敛的结论。

表1 全国相对碳排放的面板单位根检验

检验方法	相对碳强度	相对人均碳排放
	统计值	统计值
IPS	-4.8733 ***	-1.6310*
ADF - Fisher	120.947 ***	83.8539 **
PP - Fisher	102.328 ***	74.5247*
Hadri	7.5307 ***	8.5744 ***

注:(1) \*\*\*, \*\*, \* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下拒绝原假设。(2) 检验类型包括趋势项和常数项。

<sup>①</sup>IPS、ADF - Fisher 和 PP - Fisher 的原假设都是“所有序列都存在单位根”,而 Hadri 的原假设为“所有序列都是平稳的”。

<sup>②</sup>我们根据第一种方法进行了测算,对比两种方法的测算结果,我们发现结果差别很小,而后者从数据方面更为简单可行。有需要这两种方法测算的中国分省二氧化碳排放数据的读者可以随时向作者索取。

## (二) 全局性随机收敛的单变量单位根检验

在以上面板单位根检验中, 检验结果并不一致, 即某些省份的相对碳排放序列是平稳的, 而有些序列是非平稳的。为解决以上问题, 我们进行单变量单位根检验。表 2 和表 3 分别报告了 29 个省份各自相对碳强度序列和相对人均碳排放序列的 ADF、PP、KPSS、DF - GLS、 $MZ_{\alpha}$  等五种单变量单位根检验结果。

**表 2** 分省相对碳强度的单变量单位根检验

省份	ADF	PP	KPSS	DF - GLS	$MZ_{\alpha}$	省份	ADF	PP	KPSS	DF - GLS	$MZ_{\alpha}$
北京	-2.7826	-2.6498	0.0973	-2.3553	-2.5168	河南	-1.7597	-1.6983	0.1492**	-2.1195	-6.4356
天津	-2.6629	-1.4630	0.1058	-1.3696	-3.2865	湖北	-2.9977	-1.5195	0.1285*	-1.5139	-3.4623
河北	-1.7846	-3.6594*	0.1041	-1.8209	-4.2731	湖南	-5.7904***	-2.0770	0.1296*	-1.9469	-2.7356
山西	-2.4238	-4.3595**	0.0840	-3.9525***	-4.5780	广东	-2.8630	-2.8590	0.0985	-2.8690	-4.9957
内蒙古	-1.6030	-3.3708*	0.1497**	-1.8316	-2.2954	广西	-3.5871*	-2.7938	0.1135	-2.9915*	-7.4209
辽宁	-2.1498	-1.6504	0.0911	-1.7919	-4.6100	海南	-5.8212***	-5.6369***	0.1503**	-3.3039**	-1.9696
吉林	-2.9650	-2.2678	0.0996	-2.4115	-6.4658	四川	-2.4925	-2.4925	0.1240*	-2.6434	-6.5806
黑龙江	-1.9279	-1.5630	0.1212*	-1.4703	-3.6692	贵州	-4.0026**	-6.3886***	0.1398*	-1.7984	-6.1584
上海	-3.6771*	-2.1902	0.0873	-2.1638	-4.7062	云南	-3.1387	-4.7468***	0.1219*	-3.2088**	-5.4948
江苏	-2.3638	-1.7718	0.1449*	-1.7231	-2.6117	陕西	-11.4369***	-1.9789	0.1164	-2.1697	-5.5176
浙江	-1.1255	-1.8418	0.1651**	-1.2056	-1.8937	甘肃	-1.9309	-2.1200	0.1101	-2.3844	-6.4510
安徽	-3.3802*	-1.8845	0.0871	-1.8371	-4.2612	青海	-3.6388*	-2.5400	0.0828	-2.7389	-7.0629
福建	-1.3491	-3.2504	0.1350*	-1.6402	-4.1672	宁夏	-1.4912	-1.4912	0.1442*	-1.6796	-4.5717
江西	-4.6588**	-4.6588**	0.0911	-2.0898	-6.0260	新疆	0.2420	-2.0005	0.1401*	-1.7762	-4.5577
山东	-3.4781*	-3.5211*	0.0992	-1.7914	-4.0163	结论	10/29	8/29	15/29	4/29	0/29

注: 同表 1, 下同。

**表 3** 分省相对人均碳排放的单变量单位根检验

省份	ADF	PP	KPSS	DF - GLS	$MZ_{\alpha}$	省份	ADF	PP	KPSS	DF - GLS	$MZ_{\alpha}$
北京	-1.3328	-1.3023	0.1598**	-1.5227	-1.1743	河南	-2.9852	-1.9276	0.0992	-2.1630	-6.3070
天津	-2.5300	-1.5779	0.0958	-1.5208	-4.1009	湖北	-1.4125	-1.4125	0.1504**	-1.6341	-4.5012
河北	-0.3270	-1.7630	0.1493**	-0.9278	-2.0649	湖南	-5.6364***	-2.0742	0.1398*	-1.9294	-2.5735
山西	-1.7023*	-3.2829	0.0996	-3.0137*	-4.3395	广东	0.3772	0.8258	0.1437*	-0.7153	-2.0300
内蒙古	-3.3176	-2.7009	0.0834	-1.3755	-3.4502	广西	-1.0522	-1.0715	0.1682**	-1.5775	-2.7044
辽宁	-1.9905	-1.5457	0.1091	-1.5692	-4.3048	海南	-2.3423	-3.0148	0.1318*	-2.5497	-2.4032
吉林	-2.1353	-1.7220	0.1258*	-1.7976	-4.7960	四川	-2.2660	-2.2660	0.1554**	-2.4449	-5.7257
黑龙江	-1.2728	-1.3924	0.1307*	-1.5035	-4.1429	贵州	-2.9380	-2.9380	0.1067	-2.8067	-4.9334
上海	-5.3219***	-4.9220***	0.1287*	-2.7009	-2.4199	云南	-3.5906*	-8.1225***	0.1428*	-2.7037	-0.5019
江苏	-2.3929	-1.8644	0.1221*	-1.8208	-3.0754	陕西	-12.2164***	-1.5915	0.1342*	-1.9124	-4.1851
浙江	0.0052	-0.1432	0.1785**	-1.0858	-1.7446	甘肃	-1.4885	-2.8374	0.1867**	-3.2846**	-4.1582
安徽	-1.2222	-1.6096	0.0983	-1.3919	-3.2628	青海	-2.9885	-2.8431	0.0677	-3.2802**	-7.8142
福建	-2.8479	-2.8556	0.1604**	-1.5196	-3.3110	宁夏	-1.5157	-1.5200	0.1443*	-1.6952	-4.5333
江西	-2.9513	-3.8355**	0.0836	-2.1542	-5.5619	新疆	0.4941	-2.0341	0.1321*	-1.8330	-5.0591
山东	-1.2946	-2.5258	0.1115	-1.3046	-3.2525	结论	5/29	3/29	10/29	3/29	0/29

### 1. 相对碳强度的单变量单位根检验

ADF 检验结果表明, 仅 10 个省份的相对碳强度拒绝了存在单位根的原假设。其中, 在 1% 的显著性水平下湖南、海南、陕西 3 个省份, 在 5% 的显著性水平下江西、贵州 2 个省份, 在 10% 的显著性水平下上海、安徽、山东、广西、青海 5 个省份的相对碳强度拒绝了存在单位根的原假设, 而其他 19 个省份的相对碳强度均接受了存在单位根的原假设。PP 检验结果表明, 仅 8 个省份的相对碳强度拒绝了存在单位根的原假设。其中, 在 1% 的显著性水平下海南、贵州、云南 3 个省份, 在 5% 的显著性水平下山西、江西 2 个省份, 以及在 10% 的显著性水平下河北、内蒙古、山东 3 个省份的相对碳强度拒绝了存在单位根的原假设。KPSS 检验结果则表明, 有 15 个省份的相对碳强度接受了平稳性的原假设, 而 14 个省份的相对碳强度序列则拒绝了平稳性的原假设。其中, 在 5% 的显著性水平下内蒙古、浙江、河南和海南 4 个省份以及在 10% 的显著性水平下黑龙江、江苏、福建、湖北、湖南、四川、贵州、云南、宁夏和新疆 10 个省份的相对碳强度拒绝了平稳性的原假设。DF - GLS 检验结果表明, 有 4 个省份的序列拒绝了存在单位根的原假设。其中, 在 1% 的显著性水平下

的山西,在5%的显著性水平下海南和云南2个省份,以及在10%的显著性水平下广西的相对碳强度拒绝了存在单位根的原假设。最后  $MZ_{\alpha}$  检验结果表明,所有的29个省份均拒绝了存在单位根的原假设。

#### 2. 相对人均碳排放的单变量单位根检验

ADF 检验结果表明,有5个省份的相对人均碳排放拒绝了存在单位根的原假设。其中,在1%的显著性水平下的上海、湖南、陕西,在10%的显著性水平下的山西、云南的相对人均碳排放序列拒绝了存在单位根的原假设,而其他24个省份的相对人均碳排放序列均接受了存在单位根的原假设。PP 检验结果表明,有3个省份的相对人均碳排放拒绝了存在单位根的原假设。其中,在1%的显著性水平下上海和云南,在5%的显著性水平下江西的相对人均碳排放序列拒绝了存在单位根的原假设。KPSS 检验结果则表明,有10个省份的相对人均碳排放接受了平稳性的原假设,而其他19个省份的相对人均碳排放序列则拒绝了平稳性的原假设,其中,在5%的显著性水平下北京、河北、浙江、福建、湖北、广西、四川、甘肃8个省份,在10%的显著性水平下吉林、黑龙江、上海、江苏、湖南、广东、海南、云南、陕西、宁夏和新疆11个省份的相对人均碳排放序列拒绝了平稳性的原假设。DF-GLS 检验结果表明,有3个省份的序列拒绝了存在单位根的原假设。其中,在5%的显著性水平下甘肃和青海,以及在10%的显著性水平下山西的相对人均碳排放序列拒绝了存在单位根的原假设。最后,同相对碳强度的检验结果相同, $MZ_{\alpha}$  检验结果表明29个地区的相对人均碳排放序列均拒绝了存在单位根的原假设。

综合两类排放指标的单变量单位根检验结果,我们得出如下三点结论:第一,相对人均碳排放的单变量单位根检验结果收敛的省份数少于相对碳强度,这说明人均碳排放相对于碳强度指标更加趋于发散。第二,虽然不同的检验方法所得到的收敛结论并不一致,但是不存在任何省份的相对碳排放呈现确定性随机收敛趋势。第三,单变量单位根检验结果表明不存在全局性随机收敛,进一步支持了面板单位根检验结果。

### 四、二氧化碳排放的俱乐部随机收敛检验

俱乐部收敛检验的是经济发展水平和初始条件相似的经济体内部是否存在收敛。下面我们采用面板单位根检验方法,按照三大地区<sup>①</sup>和八大地区<sup>②</sup>的区域划分方法,将各个地区作为“俱乐部”,检验中国二氧化碳排放是否存在俱乐部随机收敛。表4、表5分别报告了检验结果。

表4 三大地区碳排放的俱乐部随机收敛检验

地区	相对碳强度				相对人均碳排放量			
	IPS	ADF - Fisher	PP - Fisher	Hadri	IPS	ADF - Fisher	PP - Fisher	Hadri
东部地区	-2.3648***	46.9674***	46.9818***	4.7804***	-0.0764	25.1830	20.4161	5.8906***
中部地区	-3.7611***	47.5644***	29.1708**	3.5684***	-2.6646***	36.6155***	24.2623	3.3033***
西部地区	1.2267	9.6702	15.0738	10.0399***	0.8003	10.8878	19.6622	7.2702***

表5 八大地区碳排放的俱乐部随机收敛检验

地区	相对碳强度				相对人均碳排放量			
	IPS	ADF - Fisher	PP - Fisher	Hadri	IPS	ADF - Fisher	PP - Fisher	Hadri
北部沿海	0.3015	4.1489	7.8945	1.6882**	0.7305	4.4423	5.0507	2.5673***
东部沿海	0.1767	6.5113	12.9976**	7.2862***	0.7820	1.2165	0.5198	16.8759***
南部沿海	-2.7289***	17.3460***	19.3559***	2.8534***	-1.5824*	11.8778*	11.9713*	1.4152*
东北地区	-3.1682***	19.6523***	4.6256	0.6382	-4.4394***	27.0283***	5.1258	0.7510
长江中游	-3.8167***	31.4847***	11.4041	2.2030**	-3.5297***	29.1769***	27.4289***	2.5665***
黄河中游	-4.0631***	31.6034***	22.5698***	2.8132***	-2.0327**	20.0317**	13.7448*	2.2988**
西北地区	0.6543	4.2887	4.1168	3.1788***	0.6966	5.5227	5.9271	3.4139***
西南地区	-2.7595***	20.1160***	31.6346***	3.2860***	-2.2291**	17.0016**	28.9803***	3.4919***

①三大地区的区域划分方法为:东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、山东、江苏、浙江、上海、福建、广东、海南、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;西部地区包括四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

②八大地区的区域划分方法为:北部沿海地区包括山东、河北、北京、天津;南部沿海地区包括广东、福建、海南;东部沿海地区包括上海、江苏、浙江;东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江;长江中游地区包括湖南、湖北、江西、安徽;黄河中游地区包括陕西、河南、山西、内蒙古;西南地区包括广西、云南、贵州、四川;西北地区包括甘肃、青海、宁夏、新疆。

### (一) 三大地区碳排放的俱乐部随机收敛检验

根据表4,从东部地区相对碳强度的面板单位根检验结果看,IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher检验均通过了1%的显著性水平检验,所有检验结果均拒绝了存在单位根的原假设;Hadri检验在1%的显著性水平下拒绝了平稳性的原假设。而东部地区相对人均碳排放的面板单位根的IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher检验结果均不显著,接受了单位根的原假设;Hadri检验在1%的显著性水平下同样拒绝了平稳性的原假设。因此,东部地区的两类碳排放指标均不存在俱乐部随机收敛。中部地区相对碳强度的IPS、ADF-Fisher检验均通过了1%的显著性水平检验,PP-Fisher检验则通过了5%的显著性水平检验;Hadri检验在1%的显著性水平下同样拒绝了平稳性的原假设。而中部地区相对人均碳排放的面板单位根的IPS、ADF-Fisher检验均通过1%的显著性水平检验,拒绝了单位根的原假设;PP-Fisher检验不显著;Hadri检验在1%的显著性水平下同样拒绝了平稳性的原假设。因此,中部地区的两类碳排放指标也不存在俱乐部随机收敛。西部地区相对碳强度的IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher检验均不显著,均接受了存在单位根的原假设;Hadri检验则在1%的显著性水平下拒绝了平稳性的原假设。同样地,西部地区相对人均碳排放IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher检验结果也均不显著;Hadri检验在1%的显著性水平下同样拒绝了平稳性的原假设。因此,西部地区的两类碳排放指标也不存在俱乐部随机收敛。

### (二) 八大地区碳排放的俱乐部随机收敛检验

表5报告了八大地区两类相对碳排放指标的面板单位根检验结果。根据前文的分析,如果IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher检验均显著地拒绝存在单位根的原假设,同时Hadri检验接受平稳性的原假设,则说明该地区存在俱乐部随机收敛。根据这一原则,从相对碳强度的IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher的检验结果看,南部沿海地区、黄河中游地区和西南地区支持俱乐部收敛,而从相对碳强度的Hadri检验结果看,只有东北地区的检验结果接受了平稳性的原假设。由此表明,八大地区的相对碳强度不存在俱乐部收敛。其次,从相对人均碳排放的IPS、ADF-Fisher、PP-Fisher的检验结果看,南部沿海地区、长江中游地区、黄河中游地区、西南地区支持俱乐部收敛,而从相对人均碳排放的Hadri检验结果看,同相对碳强度一样,只有东北地区的检验结果接受了平稳性的原假设。由此表明,八大地区的相对人均碳排放也不存在俱乐部收敛。

## 五、稳健性考察

出于稳健性的考虑,我们利用标准差进一步考察碳强度和人均碳排放量的地区差距及其演变态势。其中图1描述了全国所有样本两类碳排放指标的标准差,以考察是否存在全局性收敛;图2则描述了三大地区内部两类指标的标准差,以考察以地区划分的俱乐部是否存在收敛。

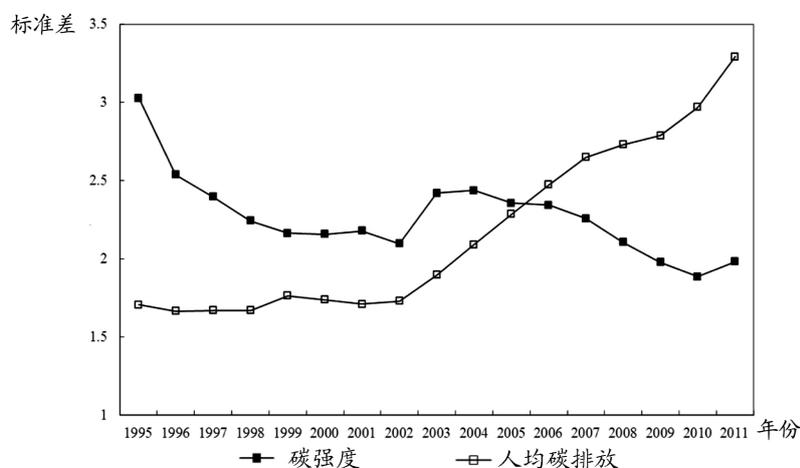


图1 全国碳排放的标准差

首先是全国层面样本数据的标准差。图1清晰地表明,在样本考察期内,全国人均碳排放的标准差持续升高,这表明人均碳排放并不存在全局性收敛而是呈现发散趋势,这一结论在一定程度上支持相对人均碳排放全国面板数据的Hadri检验结果。而碳强度的标准差除了在2003年较2002年有较大幅度提升外,基本处于下降趋势,这表明碳排放存在全局性收敛,这一结论表明相对碳强度全国面板数据的IPS、ADF-Fisher、

PP - Fisher 的检验结果可能更为可靠。

其次是三大地区层面样本数据的标准差。对于两类碳排放指标来说,图2的结果与图1基本保持一致,即三大地区人均碳排放的标准差均呈现出较明显的上升趋势,而碳强度标准差则均呈现下降趋势。其中,与东部地区的碳强度相比,东部地区人均碳排放的标准差变动幅度不大,呈现小幅上升态势,这一结论为东部地区的IPS、ADF - Fisher、PP - Fisher的检验结果提供了一定的支持。中部地区碳强度的标准差呈明显下降趋势,而其人均碳排放的标准差则明显上升。与东部地区相反,西部地区碳强度的标准差在样本考察期内不存在明显的上升或下降趋势,而其人均碳排放的标准差在样本考察期内呈明显上升趋势,这一结论支持了其相对碳排放指标的面板单位根检验结果。

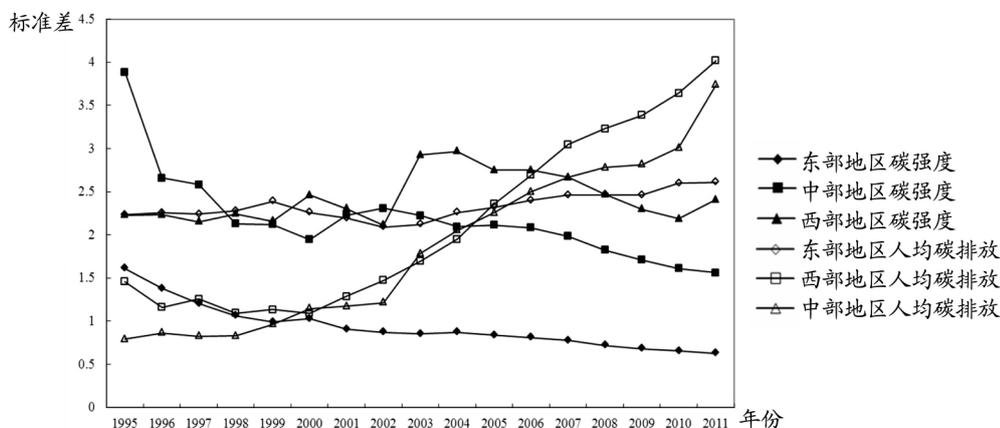


图2 三大地区碳排放的标准差

此外,我们也测算了八大地区样本数据的标准差<sup>①</sup>,其波动幅度明显高于三大地区,换言之,在整个样本考察期内,两类碳排放指标的标准差均不存在持续下降或上升趋势。这一结论支持了八大地区面板单位根的检验结果,即不存在俱乐部收敛。

## 六、总结性评论

鉴于已有研究对中国二氧化碳排放的收敛性问题没有给出一致的结论,本文采用随机收敛检验方法,以碳强度和人均碳排放两类二氧化碳排放指标,采用多种面板单位根和单变量单位根检验方法,对中国地区二氧化碳排放的收敛性进行了实证检验,并进行了稳健性考察。研究结论如下:两类碳排放指标的检验结果均表明中国二氧化碳排放未呈现全局性的随机收敛。其中,IPS、ADF - Fisher和PP - Fisher面板单位根检验结果支持收敛,而Hadri检验结果却支持发散。五种单变量单位根检验也未取得一致的研究结论,换言之,没有任何一个地区的相对碳强度和相对人均碳排放序列在样本考察期内呈现确定性的收敛趋势。此外,两类碳排放指标在三大地区和八大地区内部均未呈现俱乐部收敛。

本文的研究结论隐含着中国各地区二氧化碳排放最终不会自动收敛到某一个平均水平,换言之,地区碳排放之间的差异不会随时间推移而将会在长期内存在。由于二氧化碳主要由化石能源消耗而产生,因此造成二氧化碳排放呈发散而非收敛最为关键的原因,可能在于地区之间能源消费存在巨大差异。一方面,由于化石能源的丰裕程度在地区之间存在较大差异,那些化石能源丰裕的地区往往倾向于消费更多的化石能源,从而产生更多的二氧化碳;而那些化石能源相对短缺的地区只能利用其他非能源要素比如资本尤其是人力资本、劳动来对能源要素进行替代,从而消耗相对较少的能源而排放相对少的二氧化碳。另一方面,二氧化碳排放除了受到能源消费影响外,地区间经济发展水平、产业结构、技术进步、对外贸易等方面差异的长期存在,对于二氧化碳排放地区差异也产生较大影响。因此,二氧化碳排放呈发散而非收敛要求政策制定者必须在充分考虑碳排放地区分布差异的基础上,制定因地制宜的碳减排政策。

### 参考文献:

1. 陈青青、龙志和 2011:《中国区域CO<sub>2</sub>排放收敛的空间计量分析》,《资源与产业》第6期。

<sup>①</sup>由于图形限制,此处没有列出,有需要者可向作者索取。

2. 陈诗一 2009 《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》第 4 期。
3. 高广阔、马海娟 2012 《我国碳排放收敛性：基于面板数据的分位数回归》，《统计与决策》第 18 期。
4. 李小平、卢现祥 2010 《国际贸易、污染产业转移和中国工业 CO<sub>2</sub> 排放》，《经济研究》第 1 期。
5. 林伯强、黄光晓 2011 《梯度发展模式下中国区域碳排放的深化趋势——基于空间分析的视角》，《金融研究》第 12 期。
6. 刘华军、闫庆悦 2011 《贸易开放、FDI 与中国 CO<sub>2</sub> 排放》，《数量经济技术经济研究》第 3 期。
7. 刘华军、赵浩 2012 《中国二氧化碳排放强度的地区差异分析》，《统计研究》第 6 期。
8. 许广月 2010 《碳排放收敛性：理论假说和中国的经验研究》，《数量经济技术经济研究》第 9 期。
9. 杨骞、刘华军 2012 《中国碳强度分布的地区差异与收敛性》，《当代财经》第 2 期。
10. Aldy, J. E. 2006. "Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?" *Environmental and Resource Economics*, 33 (4): 533 - 555.
11. Barassi, M. R., M. A. Cole, and R. Elliott. 2011. "The Stochastic Convergence of CO<sub>2</sub> Emissions: A Long Memory Approach." *Environmental and Resource Economics*, 49(3): 367 - 385.
12. Baumol, W. J. 1986. "Productivity Growth, Convergence and Welfare: What the Long - run Data Show." *American Economic Review*, 76(5): 1075 - 1085.
13. Bernard, A. B., and S. N. Durlauf. 1996. "Interpreting Tests of the Convergence Hypothesis." *Journal of Econometrics*, 71(1 - 2): 161 - 173.
14. Carlino, G., and L. Mills. 1993. "Are U. S. Regional Incomes Converging? A Time Series Analysis." *Journal of Monetary Economics*, 32(2): 335 - 346.
15. Carlino, G., and L. Mills. 1996. "Testing Neoclassical Convergence in Regional Incomes and Earnings." *Regional Science and Urban Economics*, 26(6): 565 - 590.
16. Dagum C. 1997. "A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio." *Empirical Economics*, 22(4): 515 - 531.
17. Evans, P., and G. Karras. 1996. "Convergence Revisited." *Journal of Monetary Economics*, 37(2): 249 - 265.
18. Lee, C. C., C. P. Chang, and P. F. Chen. 2008. "Do CO<sub>2</sub> Emission Levels Converge among 21 OECD Countries? New Evidence from Unit Root Structural Break Tests." *Applied Economics Letters*, 15(7): 551 - 556.
19. Lee, C. C., and C. P. Chang. 2009. "Stochastic Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions and Multiple Structural Breaks in OECD Countries." *Economic Modelling*, 26(6): 1375 - 1381.
20. Ng, S., and P. Perron. 2001. "Lag Length Selection and the Construction of Unit Root Tests with Good Size and Power." *Econometrica*, 69(6): 1519 - 1554.
21. Nourry M. 2009. "Re - examining the Empirical Evidence for Stochastic Convergence of Two Air Pollutants with a Pair - wise Approach." *Environmental and Resource Economics*, 44(4): 455 - 570.
22. Quah, D. T. 1993. "Galton's Fallacy and Tests of the Convergence Hypothesis." *Scandinavian Journal of Economics*, 95(4): 427 - 442.
23. Romero - Ávila, D. 2008. "Convergence in Carbon Dioxide Emissions among Industrialized Countries Revisited." *Energy Economics*, 30(5): 2265 - 2282.
24. Strazicich, M. C., and J. A. List. 2003. "Are CO<sub>2</sub> Emission Levels Converging among Industrial Countries?" *Environmental and Resource Economics*, 24(3): 263 - 271.
25. Tsionas, E. G. 2002. "Another Look at Regional Convergence in Greece." *Regional Studies*, 36(6): 603 - 609.
26. Westerlund, J., and S. A. Basher. 2008. "Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data." *Environmental and Resource Economics*, 40(1): 109 - 120.

## The Convergence of Carbon Dioxide Emissions in China: The Perspective of Stochastic Convergence with Two Emission Indicators

Yang Qian and Liu Huajun

( Shandong University of Finance and Economics )

**Abstract:** The article adopts per carbon emission and carbon intensity to estimate the convergence of carbon dioxide emissions in China from the viewpoint of stochastic convergence by various of panel unit root test methods and univariate unit root test methods. The results show that both of two emission indicators do not present global stochastic convergence, the results of IPS, ADF - Fisher and PP - Fisher tests support convergence and Hadri test supports divergence. And univariate unit root tests do not get a consistent conclusion. Meanwhile, two emission indicators do not present club convergence within three areas and eight areas. The conclusions provide theoretical supports for the active carbon reduction policies, at the same time they also stress the regional differences in carbon dioxide emissions.

**Key Words:** Carbon Dioxide Emission; Stochastic Convergence; Unit Root Test; Club Convergence

**JEL Classification:** C3, Q53, Q58

( 责任编辑: 彭爽 )