

# 中国碳排放的空间分布格局

——基于极化指数的分析

陈浩 郝宇 廖华 魏一鸣

**摘要** 在归纳梳理了国内外碳排放空间分布极化现象的相关研究基础上,利用中国 29 个省份<sup>①</sup>1995 年~2011 年间的人均碳排放数据,计算出了表征中国省际人均碳排放分布极化程度的 EGR 指数、DER 指数和 Wolfson 指数,分析了极化程度在样本期内的变化趋势,并利用 DER 指数的分解特性剖析了极化程度变化的原因以及中国碳排放空间分布格局中“极”的变化,最后得出了中国省际碳排放空间分布极化程度在样本期内呈现出下降趋势,下降的主要原因是各省人均碳排放相对差距减小等结论。基于本文的测算结果,提出了政策制定者可以适当增强碳减排政策的普遍适用性,减少对一些地区的优惠政策以及利用极化指数辅助碳减排政策的设计和成效检验等政策建议。

**关键词** 碳排放 极化程度 EGR 指数 DER 指数 Wolfson 指数

[中图分类号] F062.1 [文献标识码] A [文章编号] 2095-851X (2014) 01-0068-12

## 一、引言

过去几十年间,中国的碳排放总量持续攀升,目前已跃居为世界上最大的碳排放国家。自《京都议定书》签订以来,中国政府采取了一系列措施控制和减少碳排放,2009 年中国政府主动承诺 2020 年单位国内生产总值的温室气体排放比 2005 年下降 40%~45%,中国政府也为各省分配了“十二五”期间减排目标。然而,由于中国各地区的资源禀赋、产业结构和发展水平不同,中国碳排放的空间分布客观上存在着一定程度的差异和不平衡,不同地区也理应为碳减排目标肩负起各自的责任和义务,承担更大减排任务的

[基金项目] 国家自然科学基金重大国际合作项目“气候变化对社会经济系统易损性分析方法及其应用研究”(批准号:71020107026);国家自然科学基金优秀青年基金项目“能源经济与气候政策”(批准号:71322306);教育部新世纪优秀人才支持计划“能源经济动态关系建模及其应用研究”(批准号:NCET-13-0040);北京高等学校青年英才计划“节能减碳政策建模及其在北京市的应用”(批准号:YETP1181);北京理工大学基础研究基金“技术进步条件下中国 CO<sub>2</sub> 排放与经济发展相互关系研究”(批准号:20132142014)。

[作者简介] 陈浩(1991-),北京理工大学管理与经济学院博士研究生,邮政编码:100081;郝宇(1983-),北京理工大学管理与经济学院讲师;廖华(1980-),北京理工大学管理与经济学院副教授;魏一鸣(1968-),北京理工大学管理与经济学院教授,长江学者特聘教授。

<sup>①</sup> 由于重庆市在 1997 年从四川省分离,成为直辖市,碳排放数据在样本期内不具备连续性,台湾、香港、澳门和西藏由于数据缺失不纳入本文研究范围。

省份可能需要加快产业结构调整和经济增长方式的转型，从而牺牲一定的经济发展速度（廖华、魏一鸣，2011）。为了合理地制定减排政策和划分不同区域的减排额度，使得碳减排政策更具说服力和可操作性，提高各省对减排政策的内在认同度和执行力，分析中国碳排放的空间分布格局及其变化趋势非常必要。

迄今为止，学者们关注更多的是碳排放空间分布的区域不公平性，常采用基尼系数衡量不同地区碳排放量或者碳排放强度的不均等程度。从定义上看，不公平性强调的是个体的碳排放量与总体均值的平均偏离程度，而没有考虑个体的碳排放量在局部聚集的现象（Esteban and Ray, 1994），因而仅分析碳排放分布的不公平性问题就可能会对碳减排政策的制定产生误导和偏差（Duro and Padilla, 2008）。为了弥补传统不公平性指数的缺陷，Esteban 和 Ray（1994）提出了极化的概念：一个原本统一的社会，日益分裂为两种群体，同一群体内的个体具有“同质性”，不同群体间的个体具有“异质性”。如果群体内的差距逐渐缩小，群体间的差距逐渐扩大，那么极化程度就会升高。极化概念说明了某一分布中的观测值分布在不同的“极”周围，因此具有组内同质和组间异质的特征。在极化概念下，分歧和冲突会依赖于分布中的成员对组内的认同程度和对组间的疏离程度，碳排放分布极化程度的高低反映出不同群体在碳排放问题上可能产生分歧和冲突的大小。

碳排放极化强调的是碳排放的空间分布在局部聚集的现象，它和不公平性存在着本质差异，这一点也在实证中得到了验证。Duro 和 Padilla（2008）在计算了样本国家的基尼系数和极化指数后发现，有些国家碳排放的不公平性程度在样本期内下降了，但是极化程度却增加了。这一结论也与 Heil 和 Wodon（1997）、Padilla 和 Serrano（2006）的计算结果一致。Duclos 等（2004）对 21 个国家人均收入的不公平性和极化程度进行排名，发现部分国家的两种排序结果差异明显。而且，极化概念也被应用在全球气候变化谈判和国际碳减排的安排中，将参与全球气候变化谈判的国家分为高排放和低排放的做法正体现了极化概念的意义所在。《京都议定书》将碳减排配额的分配国家分为附录 B 国家和非附录 B 国家（他们组内同“质”，组间异“质”），这些极化概念的具体应用体现了其科学性和有效性，将国家分组的主要目的在于通过协商控制和减少全球碳排放，并将碳排放配额重新分配给各个国家，这显然会导致结盟，处于同一“境地”的国家会为了维护自己群体的利益而发表相同的意见，所以协商是否能取得成果在很大程度上取决于多元性的极化程度。

与在国际碳减排协商中的重要性相近，极化分析在中国省际碳减排的政策制定中具有重要意义。极化分析有助于了解碳排放的空间分布差异及其变化趋势，有助于增加公平性和广泛参与度，有助于协调不同碳排放群体之间的利益和预估不同群体在碳减排问题上可能存在的分歧及冲突大小，因而可以促进碳排放配额的合理分配，并有利于不同省份在减排政策上达成一致。本文的创新点在于利用中国 29 个省份在 1995 年~2011 年间的人均碳排放数据，计算出了表征中国省际人均碳排放极化程度的 EGR（Esteban Gradin Ray）指数、DER（Duclos Esteban Ray）指数和 Wolfson 指数，分析了我国省际人均碳排放极化程度的变化趋势，利用 DER 指数的分解特性剖析了我国省际人均碳排放分布极化程度下降的原因，并且分析了碳排放空间分布格局中“极”的变化。

## 二、文献综述

极化概念最早产生于测算不同地区人均收入不公平性问题的讨论,由于常用的基尼系数、Theil 指数等公平性指数不能有效解释收入分布中出现局部聚集的现象,给理解带来误导和偏差 (Duro and Padilla, 2008),为了弥补公平性指数的不足和进一步研究收入分布中的局部聚集现象, Foster 和 Wolfson (1992)、Esteban 和 Ray (1994) 以及 Zhang 和 Kanbur (2001) 分别提出了测度收入分布极化程度的 Wolfson 指数、ER 指数和 Z-K 指数。近年来,一些学者在这些经典极化指数的基础上不断改进,以增强极化指数在统计方法上的合理性和解释力。如 Esteban 等 (1999) 为了解决 ER 指数需要外生分组的问题,提出了改进后的 EGR 指数; Vega 和 Urrutia (2006) 为了弥补 EGR 指数在各组成员变量值重叠时存在的缺陷,提出了改进后的 LU 指数;而对于 ER 指数只能计算离散点,无法处理连续数据的问题,由于现实生活中的人均收入、碳排放等变量都处于动态变化之中, Duclos 等 (2004) 基于密度函数提出了改进后的 DER 指数。

目前,国内外关于人均收入的不平等性和极化现象的研究较为全面,而对于碳排放空间分布极化现象的研究还相对较少。在国际上具有代表性的碳排放极化现象研究中, Duro 和 Padilla (2006) 首次将极化概念应用到 116 个国家的碳排放分析中,发现这些国家的人均碳排放极化程度在 1971 年~1995 年间呈现出下降趋势。Ezcurra (2007) 利用 1960 年~1999 年间 87 个国家的人均碳排放数据,得出了人均碳排放向平均值聚集和极化程度下降的结论。Duro 和 Padilla (2013) 计算了 29 个欧盟成员国的人均碳排放极化程度,结果显示,自 20 世纪 90 年代中期以来,各个国家的碳排放量不断地向平均值聚集,高排放组和低排放组间的“对抗”程度减弱,极化程度不断降低。相比之下,国内外学者对中国碳排放极化程度的分析还很有限,目前仍没有关于中国省际人均碳排放极化程度的研究。刘华军等 (2013) 曾采用 ER 指数、EGR 指数和 LU 指数测算了中国省际碳排放强度的极化程度变化情况,得出了碳排放强度的极化指数在样本期内持续降低而总体基尼系数却在增大的结论。然而,碳排放强度是由碳排放量与 GDP 水平共同决定的,省际碳排放强度极化程度的降低并不能完全说明碳排放水平的变化情况,所以本文选择各省人均碳排放指标来测度中国碳排放空间分布的极化程度。

为了对中国省际人均碳排放的极化程度进行全面测度,并在此基础上对极化程度的变化趋势做出判断,合理选择极化指数的重要性不言而喻。因此,本文归纳梳理了在碳排放和收入领域中代表性文献所采纳的极化指数(参见表 1)。可以看出,在现有的研究中,EGR 指数使用频率最高,是被学术界广泛认可的极化指数。DER 指数虽然具有处理连续数据的优势,但由于提出较晚,目前还使用较少。另外,虽然 Wolfson 指数以中位数分界进行分组有一定的局限性,但是在测度中国省际人均碳排放极化程度的研究中仍然适用。而 ER 指数的前提是假定组内成员的身份认同感完全一致,多数情况下这个假定并不能得到满足(刘华军等,2013)。LU 指数和 Z-K 指数由于没有在评价极化程度的同时提供一种分组准则,局限性较大,本文不专门计算。为了兼顾评估结果的稳健性和评价方法的创新性,本文拟采用 EGR 指数、DER 指数和 Wolfson 指数来综合测度中国省际人均碳排放分布中的极化现象。

表1 碳排放和收入极化程度测算方法使用情况

	作者(出版年)	研究内容	ER族				Wolfson	Z-K
			ER	EGR	DER	LU		
碳排放	Duro 和 Padilla(2008)	国际碳排放极化		√				
	Ezcurra(2007)	国际碳排放极化		√				
	Duro 和 Padilla(2013)	欧盟碳排放极化		√				
	Zhang 和 Kanbur(2001)	国际碳排放极化					√	
	刘华军等(2013)	中国碳强度极化	√	√		√		
收入	Duro(2005)	国际收入极化		√		√		
	Duclos 等(2004)	国际收入极化			√			
	Esteban 等(1999)	国际收入极化	√	√				
	金江、何立华(2010)	中国收入极化		√				
	刘小瑜、刘茜(2013)	中国收入极化	√					

注：表格中“√”表示该作者使用此计算方法。

资料来源：作者根据相关文献整理。

### 三、研究方法 with 数据说明

#### (一) 极化程度测度指数

##### 1. EGR 指数

借鉴 Duro 和 Padilla (2008) 在分析不同国家碳排放分布极化程度时提出的 EGR 指数, 本文将其引入到测度中国省际碳排放极化程度的问题中, 如公式 (1) 所示, 等式右边的第一部分  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i^{1+\alpha} p_j \left| \frac{e_i}{e} - \frac{e_j}{e} \right|$  为 ER 指数, 其中  $p_i$  和  $p_j$  表示省份  $i$  和省份  $j$  的人口数,  $e_i$  和  $e_j$  代表相应的人均碳排放数量,  $e$  是全国人均碳排放数量,  $\alpha$  是极化敏感性参数, 取值 1 到 1.6 之间。等式右边的第二部分  $\beta(G - G_s)$  表示组内人均碳排放分布的不平等程度, 如果该数值越大, 则表明组内成员碳排放水平的聚合程度越低, 极化程度越小。其中  $\beta > 0$ , 是表示组内成员碳排放水平聚合程度的敏感性参数,  $G$  表示分组前人均碳排放分布的基尼系数,  $G_s$  表示分组后人均碳排放分布的基尼系数 (Duro and Padilla, 2008)。EGR 指数越大, 说明人均碳排放分布的极化程度越高; 反之, 则说明人均碳排放分布的极化程度越低。本文将 DASP2.3 软件包嵌入 STATA 软件中以计算不同参数情况下的 EGR 指数, 在计算 EGR 指数时分组参数取 2。

$$EGR(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i^{1+\alpha} p_j \left| \frac{e_i}{e} - \frac{e_j}{e} \right| - \beta(G - G_s) \quad (1)$$

##### 2. DER 指数

基于认同-疏离框架, Duclos 等 (2004) 在 ER 指数的基础上提出了 DER 指数, 在中国省际人均碳排放极化程度的测算中, 设定  $x$  和  $y$  分别为两个省份的人均碳排放, 那么

两个省份碳排放的疏离性可以表示为  $|x - y|$ ，而用  $x$  处的密度函数值  $f(x)$  表示人均碳排放为  $x$  的认同性。在有关极化概念的公理性条件下，中国省际人均碳排放分布的极化指数可以表示为：

$$DER(\alpha) = \iint f(x)^{1+\alpha} f(y) |x - y| dy dx \quad (2)$$

其中， $\alpha \in [0.25, 1]$  为极化敏感性参数。DER 指数具有良好的分解特性，下面以式 (2) 为基础进行说明。人均碳排放为  $y$  的认同性为  $\iota(\alpha) = f(y)^\alpha$ ，那么  $\bar{\iota}(\alpha) = \int f(y)^{1+\alpha} dy$  即为社会的平均认同性。由于人均碳排放为  $x$  的省份对人均碳排放为  $y$  的省份疏离性为  $|x - y|$ ，因而所有省份对人均碳排放为  $y$  的省份的疏离性即为  $a(y) = \int f(x) |x - y| dx$ ，所以，中国省际碳排放的平均疏离性为  $\iint f(x) |x - y| dx dy$ 。认同性与疏离性之间的相关系数如式 (3) 所示 (罗楚亮, 2010)。

$$\rho = \frac{\text{cov}[\iota(\alpha), a(y)]}{\iota(\alpha)a} = \frac{1}{\iota(\alpha)a} \int [\iota(\alpha) - \bar{\iota}(\alpha)][a(y) - \bar{a}] dy \quad (3)$$

那么，经过整理后得到：

$$DER = \bar{\iota}(\alpha) \times \bar{a} \times (1 + \rho) \quad (4)$$

可以看出，式 (4) 构成了 DER 指数的一种分解形式，DER 指数可以表示为认同性、疏离性以及二者相关性的乘积。本文采用 DAD4.6 软件计算不同参数下的 DER 指数。

### 3. Wolfson 指数

Wolfson (1994) 在讨论了洛伦兹曲线与两极分化曲线关系的基础上，提出了能够度量两极分化的 Wolfson 指数，如式 (5) 所示。

$$W = 2[2[0.5 - \text{Lorenz}(0.5)] - \text{Gini}] \frac{\mu}{\text{Median}} \quad (5)$$

在中国省际碳排放的分布问题中， $\text{Lorenz}(0.5)$  表示占总人数 50% 的低排放人口的碳排放额， $\text{Gini}$  表示基尼系数， $\mu$  表示人均碳排放均值， $\text{Median}$  表示人均碳排放的中位数，本文采用 DAD4.6 软件计算 Wolfson 指数。

### (二) 数据说明及分析

本文采用的碳排放数据包括化石能源燃烧和水泥生产过程中产生的二氧化碳，参考了杜立民 (2010) 计算出的中国 29 个省份在 1995 年 ~ 2007 年间的碳排放数据，并根据文中所提及的碳排放计算方法将此数据集更新至 2011 年。其中，化石能源消费量来自《中国能源统计年鉴》中的地区能源平衡表，水泥生产数据来自国泰安金融数据库，人口数据来自《中国统计年鉴》。

为了体现中国各省人均碳排放的分布特征及其变化情况，本文将 1995 年、2003 年和 2011 年各省的人均碳排放按照大小顺序排列后分别绘制成折线图 (参见图 1)，其中，对于特定的年份，从碳排放量的排名名次差距和与之对应的碳排放量的差距可以侧面反映出中国碳排放空间分布的均衡程度。为了使全国相对人均碳排放在这三年中的相对最大值相同，本文对 2003 年和 2011 年的实际人均碳排放进行了收缩折算，其中 2003 年折算到

1995年的收缩倍数为1.21，2011年折算到1995年的收缩倍数为4.13。图1中三条曲线的形状变化表明中国省际碳排放分布特征的变化，从2003年与1995年的对比中可以看出，2003年全国高排放群体和低排放群体的相对差距减小，组间“敌对”势力减弱，疏离性减小，而认同性的变化并不显著，整体表现出了2003年全国人均碳排放极化程度小于1995年的迹象。从2011年与2003年的对比中可以看出，2011年的全国高排放群体和低排放群体的人均碳排放相对差距有所增加，从而导致疏离性增加，高排放群体内的成员认同性减小了，而低排放群体内的成员认同性却增加了。另外，2011年全国高排放群体的成员数量相对于2003年有一定程度的缩减。所以，2003年和2011年全国人均碳排放的极化程度变化情况还取决于哪种势力占据主导地位，更准确的极化程度变化情况判断还依赖于极化指数结果的论证。

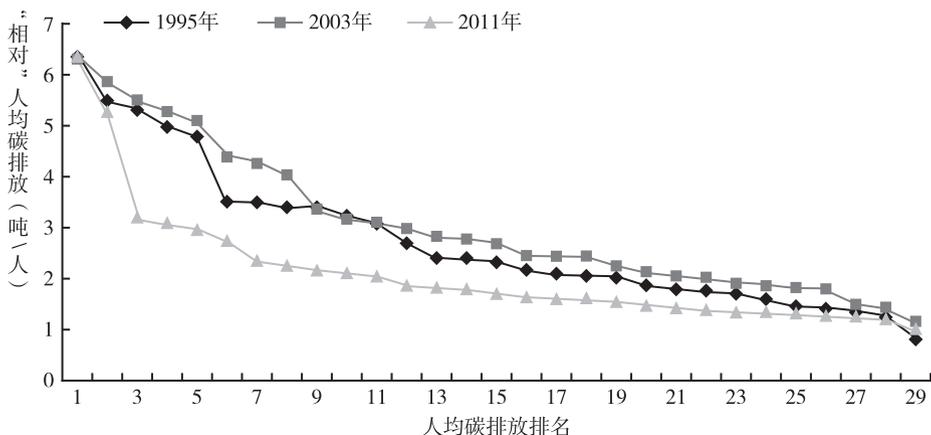


图1 中国省际人均碳排放排序分布图<sup>①</sup>

在全国人均碳排放分布特征发生变化的背景下，为了进一步了解各省人均碳排放排名的变化情况，明确各省份的人均碳排放水平在全国范围内较高还是较低，本文分析了1995年和2011年各省人均碳排放在全国范围内的排名变化（参见图2）。图2的横轴表示1995年各省人均碳排放排名，纵轴是2011年各省人均碳排放排名，从原点出发45°线以上的点所对应的省份2011年的人均碳排放排名相对于1995年退步了，而45°线以下的点所对应省份2011年的人均碳排放排名相对于1995年进步了。从图2中可以看出，除了浙江省以外，其余28个省份的人均碳排放排名均发生了不同程度的变化。例如北京市较好地控制了碳排放增速，人均碳排放排名从1995年的第3名降到2011年的第28名；而福建省的人均碳排放增速较快，人均碳排放排名由1995年的较低水平（第26名）上升到2011年全国人均碳排放的中游地带（第15名）。显然，这些省份人均碳排放相对位置的变动将会对减排政策的制定和协调产生较大影响，甚至会影响到不同碳排放水平省份对碳减排政策能否取得共识。例如，初期的高排放群体可能会在讨论协商中维护自己所处的高

<sup>①</sup> 图1的数据包括中国29个省份（其中台湾、香港、澳门、西藏、重庆除外），数据来源于作者计算整理，如果有需要可来信索取，下同。

排放群体的利益,而在后期转入低排放群体后,可能会转而维护低排放群体的利益,也体现了人均碳排放极化过程中对象所属群体变化所带来的观点和立场的改变,这一点也应当引起政策制定者的高度关注。

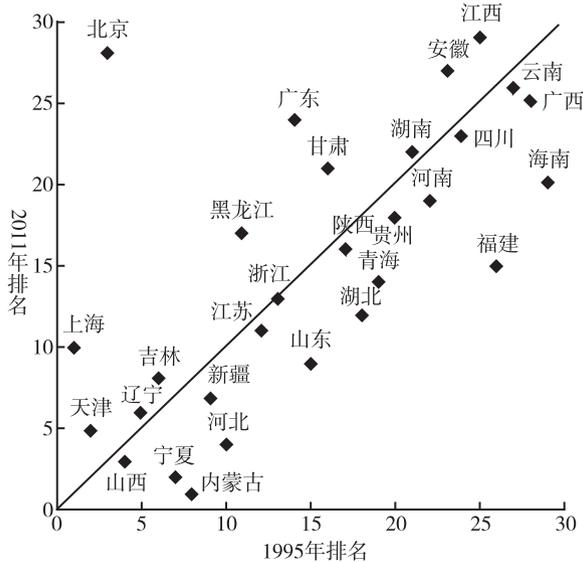


图2 1995年和2011年各省人均碳排放排名分布情况

## 四、分析与讨论

### (一) 碳排放极化程度的趋势

根据中国1995年~2011年间29个省份的人均碳排放数据,本文利用DASP2.3软件包和DAD4.6软件计算出了表征中国省际人均碳排放分布极化程度的三种指数,即DER指数、Wolfson指数和EGR指数(参见表2)。为了清晰地表现各个指数变化的程度和趋势,本文将1995年的全国人均碳排放分布极化指数标准化为基数值100,并将剩余年份在1995年极化指数数值的基础上进行折算,图3显示出样本期内三种极化指数和基尼系数的变化情况(由于DER指数和EGR指数同时选取了多组参数,本文取各组参数下相对极化指数的平均值作图。基尼系数即为DER指数在 $\alpha=0$ 时的取值)。<sup>①</sup>

从表2可以看出,三种极化指数在17年间均表现出下降趋势,其中Wolfson指数的下降幅度最大,17年间下降了20.9%,而对于多种参数选择下的极化指数,DER指数和EGR指数下降的平均值分别为8.1%和13.9%。从DER指数和EGR指数的相关参数灵敏度分析结果中可以看出,尽管参数的取值不同,但是对应的极化指数均表现出下降的趋势,这也说明1995年~2011年间中国省际碳排放极化程度降低的结果具有稳健性。另外,极化敏感性参数 $\alpha$ 值越大,对应的DER指数和EGR指数越小,EGR指数与基尼系数的差别越明显,<sup>②</sup>这是因为 $\alpha$ 是衡量组内成员认同性的参数, $\alpha$ 值越大时,表明组内成员

① 参数选择依据见 Esteban et al. (1999)、Duclos et al. (2004)、Duro 和 Padilla (2008)。

② 当 $\alpha=0$ 时,DER指数与基尼系数相等。

之间的相互认同感越强，这也体现出基尼系数与极化指数的重要差别：极化指数考虑了被基尼系数忽视的组内成员之间的身份认同感（金江、何立华，2010），从另一个方面说明了利用极化指数分析人均碳排放分布特征的必要性。

表2 极化指数结果综合

年代	DER 指数					Wolfson 指数	EGR 指数		
	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.25$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.75$	$\alpha = 1$		$\alpha = 1$ $\beta = 1$	$\alpha = 1.3$ $\beta = 1$	$\alpha = 1.6$ $\beta = 1$
1995	0.2739	0.2210	0.1797	0.1473	0.1216	0.2606	0.1395	0.1026	0.0730
1996	0.2690	0.2179	0.1781	0.1469	0.1219	0.2577	0.1367	0.1005	0.0714
1997	0.2732	0.2214	0.1805	0.1482	0.1224	0.2760	0.1452	0.1079	0.0779
1998	0.2667	0.2156	0.1764	0.1459	0.1215	0.2418	0.1300	0.0946	0.0662
1999	0.2682	0.2166	0.1772	0.1464	0.1219	0.2387	0.1238	0.0888	0.0608
2000	0.2707	0.2191	0.1790	0.1474	0.1222	0.2741	0.1295	0.0929	0.0633
2001	0.2654	0.2166	0.1779	0.1472	0.1226	0.2431	0.1260	0.0911	0.0630
2002	0.2584	0.2119	0.1750	0.1457	0.1220	0.2284	0.1261	0.0918	0.0643
2003	0.2499	0.2079	0.1734	0.1456	0.1228	0.2318	0.1222	0.0890	0.0623
2004	0.2566	0.2122	0.1757	0.1464	0.1227	0.2566	0.1287	0.0943	0.0667
2005	0.2460	0.2054	0.1722	0.1451	0.1229	0.2722	0.1301	0.0957	0.0679
2006	0.2445	0.2023	0.1695	0.1433	0.1220	0.2388	0.1203	0.0869	0.0599
2007	0.2473	0.2028	0.1691	0.1426	0.1212	0.2419	0.1204	0.0862	0.0585
2008	0.2519	0.2021	0.1665	0.1396	0.1183	0.2407	0.1143	0.0817	0.0554
2009	0.2497	0.2000	0.1647	0.1381	0.1171	0.2342	0.1180	0.0852	0.0589
2010	0.2421	0.1948	0.1612	0.1361	0.1161	0.2108	0.1209	0.0886	0.0625
2011	0.2572	0.2006	0.1622	0.1345	0.1131	0.2061	0.1209	0.0883	0.0624

从图3中可以看出，三种极化指数在1995年~2011年间均表现出了下降趋势，而且波动趋势大致相同，Wolfson指数和EGR指数的波动幅度较大，而基于密度函数的DER

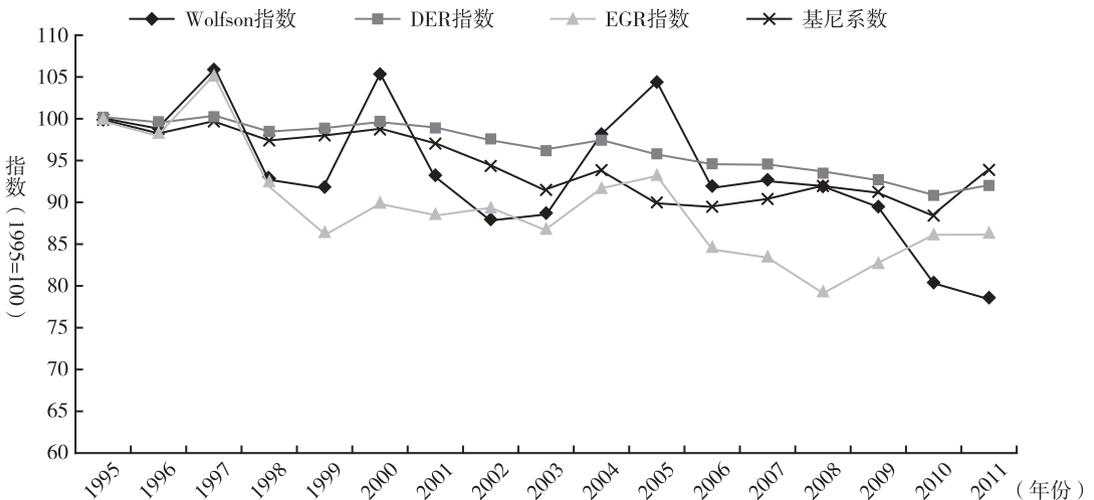


图3 极化指数和基尼系数之间的对比

指数曲线相对平滑,下降趋势最为明晰,相比之下,DER指数对中国省际人均碳排放极化程度的测度效果较好。在基尼系数曲线与其他三种极化指数曲线的对比中可以看出,基尼系数曲线虽然也表现出了下降趋势,但是,在部分时间段内基尼系数与三种极化指数的变化方向截然相反,以2007年~2008年时间段为例,三种极化指数在此时间段内均表现出了下降趋势,而基尼系数在此时间段内却表现出了上升趋势,可见单一使用基尼系数来衡量人均碳排放的空间分布特征可能会带来误导和偏差。

## (二) 碳排放极化程度下降的原因

为了分析1995年~2011年中国省际人均碳排放极化程度下降的原因,本文利用DER指数的分解特性,将DER指数按照(4)式进一步分解为认同性、疏离性和相关性三个部分,并分别计算其值(参见表3)。

表3 DER指数的分解

年份	DER指数	认同性 $\bar{i}(\alpha)$	疏离性 $\bar{a}$	相关性 $(1 + \rho)$
1995	0.1797	0.7066	0.2739	0.9285
1997	0.1805	0.7049	0.2732	0.9374
1999	0.1772	0.7134	0.2682	0.9261
2001	0.1779	0.7182	0.2654	0.9335
2003	0.1734	0.7400	0.2499	0.9378
2005	0.1722	0.7426	0.2460	0.9425
2007	0.1691	0.7428	0.2473	0.9204
2009	0.1647	0.7443	0.2497	0.8860
2011	0.1622	0.7389	0.2572	0.8537

从表3中可以看出,在1995年~2011年间,中国省际人均碳排放分布中的认同性呈现出了上升趋势,表明人均碳排放分布中出现了向少数群体聚集的现象。疏离性呈现出了下降趋势,表明人均碳排放分布中不同群体间的差距减小了。认同性和疏离性的相关系数一直为负值,而且这种负相关越来越明显。从DER指数的认同—疏离框架来看,各省人均碳排放疏离性的下降是中国省际人均碳排放极化程度下降的主要原因,这也印证了各地区人均碳排放趋同和收敛的特点。在最近的研究中,一些学者分析了不同国家的碳排放差异和趋同收敛性特征,如王娟、张克中(2013)在使用单位根检验和面板数据回归的基础上,对中国28个省份的人均碳排放分布进行了分析,得出了中国省际人均碳排放分布具有收敛性的结论。高广阔、马海娟(2012)基于中国28个省份人均碳排放数据的分位数进行回归,发现各省人均碳排放存在绝对收敛和条件收敛。张陶新(2013)分析了178个国家在1992年~2008年的人均碳排放分布,发现这178个国家的人均碳排放具有 $\beta$ 绝对收敛性,说明随着时间的推移,碳排放量和人均碳排放量之间的差距逐渐缩小。

就中国的具体情况而言,不同省份间人均碳排放的趋同收敛和差距缩小与中国政府长期倡导调整和优化产业结构,实现人与自然和谐共处以及可持续发展紧密相关(魏一鸣等,2008)。而且,碳排放的趋同收敛趋势还会得到进一步延续,主要原因有以下两个方

面：一是在全球气候变化的大背景下，中国政府面临的碳减排压力已传导至各省份，各省份都在为经济增长和碳减排而努力，而且在向低碳经济转型的过程中突破了对原有路径的依赖，各地区基于碳减排的经济发展路径趋同。二是随着中国碳排放交易试点的成功运行和碳减排技术的交流扩散，各省份人均碳排放的相对差距会进一步缩小（石蕾、李洋，2013）。

### （三）碳排放空间分布格局中“极”的变化

在中国碳排放空间分布极化程度的下降过程中，组成两个“极”的成员也发生了显著变化，在样本初期（1995年）的高人均排放群体主要由经济发达的省份构成，低人均排放群体主要由经济相对欠发达的省份构成。而样本末期（2011年）的高人均碳排放群体主要由重工业较发达的省份构成，低排放群体主要由农业和服务业占比较高的省份构成。总的说来，中国省际人均碳排放分布的极性差异由收入水平差异逐渐转变为产业结构差异，这与中国经济发展过程密切相关。在20世纪90年代中期之后的十几年间，北京、上海和广东等经济发达地区率先发展低碳经济和环保产业，从而带动了全国的产业结构和能源结构调整，提升了能源利用效率，轻工业、金融业和服务业等低碳产业得到了快速发展。目前的两极差异主要体现在各省份的产业结构和资源禀赋特征上，例如重工业占比和高排放能源消费比重较高的内蒙古自治区、山西省和河北省等组成的高排放“极”，与第三产业占比较高的北京市、云南省和海南省等组成的低排放“极”形成了鲜明的对比。碳排放空间分布中组成“极”的成员变化反映出了碳减排讨论协商中潜在冲突群体的变化，不同群体的成员特征会左右政策制定时的讨论焦点，这也为政策制定指明了方向。分析碳排放空间分布中“极”的成员特征有助于化解冲突，增加公平性和碳减排政策的说服力。

## 五、主要结论和政策建议

本文在归纳梳理了国内外有关碳排放极化现象研究的基础上，利用中国29个省份在1995年~2011年间人均碳排放数据，计算出了表征中国省际人均碳排放极化程度的EGR指数、DER指数和Wolfson指数，分析了中国省际人均碳排放极化程度的变化趋势，利用DER指数的分解特性剖析了我国省际人均碳排放分布极化程度下降的原因，分析了碳排放空间分布格局中“极”的变化，在此过程中，主要得出以下几点结论，并提出了相应的政策建议：

第一，中国省际人均碳排放空间分布的极化程度在1995年~2011年间呈现出下降趋势，这一结果得到了三种极化指数的佐证，结果具有稳健性。不同极化指数所测度出的下降幅度略有差异，其中，Wolfson指数在17年间下降了20.9%，DER指数和EGR指数下降的平均值分别为8.1%和13.9%。这也意味着我国前期针对不同区域的碳减排政策在促进公平性方面收到了良好的效果，各省关于碳减排政策取得共识和达成一致的可能性不断增大，中国的碳减排政策在实施过程中遇到的阻力越来越小。因此，政府部门在制定碳减排政策时，应在兼顾地区差异性的基础上适当增强碳减排政策的普遍适用性，减少对一些地区的优惠政策。

第二，中国省际碳排放极化程度下降的主要原因是碳排放空间分布中疏离性的减小，即不同省份间人均碳排放相对差距的减小，各省份的人均碳排放趋同收敛，这与中国政府

长期倡导调整和优化产业结构,实现人与自然和谐共处以及可持续发展紧密相关。而且,由于各地区基于碳减排的经济发展路径趋同,加上中国碳排放交易试点的成功运行和区域间碳减排技术的交流扩散,各省区人均碳排放水平的相对差距会进一步缩小。因此,碳排放的趋同收敛趋势可能会得到进一步延续。

第三,1995年~2011年间,中国碳排放空间分布中“极”的组成成员特征发生了显著变化,样本期初“高碳排放极”和“低碳排放极”的成员收入水平差异明显,样本期末“高碳排放极”和“低碳排放极”的成员产业结构差异明显。因此,当前政府应当继续推进经济结构转型和产业结构调整,在保证经济平稳、较快增长的基础上充分挖掘节能减排潜力,努力缩小中国碳排放极化程度,从而提高不同区域碳排放的公平性。

第四,本文的实证结果表明极化指数和公平性指数(如基尼系数)不同。极化指数可以作为公平性指数的良好补充,以避免在研究收入和碳排放空间分布问题中仅使用公平性指数带来的误导和偏差。而且,从不同极化指数对中国省际人均碳排放极化程度的测度效果来看,相对于EGR指数和Wolfson指数,基于密度函数的DER指数的测度效果较好。本文中的DER指数曲线不仅相对平滑,下降趋势明晰,同时还具有分析极化程度变化原因的分解特性,可以为后续有关极化程度的研究提供借鉴和参考。因此,政策制定者可以利用极化指数辅助碳减排政策的设计和成效检验,极化指数既可以作为预估政策所指对象的认同程度、潜在分歧和冲突大小的重要工具,也可以作为检验政策能否促进公平的重要工具。

## 参考文献

- 杜立民(2010):《我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究》,《南方经济》第11期。
- 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。
- 金江、何立华(2010):《中国城乡居民收入分配两极分化研究》,《山东经济》第1期。
- 廖华、魏一鸣(2011):《“十二五”中国能源和碳排放预测与展望》,《中国科学院院刊》第2期。
- 刘华军、赵浩、杨骞(2013):《中国二氧化碳排放分布的极化研究》,《财贸研究》第3期。
- 刘小瑜、刘茜(2013):《中国收入极化现象与经济发展的关系分析》,《统计与决策》第8期。
- 罗楚亮(2010):《居民收入分布的极化》,《中国人口科学》第6期。
- 石蕾、李洋(2013):《中国区域经济增长的碳排放强度差异及其收敛性》,《北京理工大学学报》(社会科学版)第2期。
- 王娟、张克中(2013):《碳排放趋同与经济增长》,《公共经济研究》第1期。
- 魏一鸣、刘兰翠、范英(2008):《中国能源报告2008:碳排放研究》,北京:科学出版社,第99~108页。
- 张陶新(2013):《全球碳排放的区域差异与收敛性分析》,《世界地理研究》第2期。
- Duclos, J. Y., J. Esteban, and D. Ray (2004). Polarization: Concepts, Measurement, Estimation. *Econometrica*, 72(6).
- Duro, J. A. (2005). Another Look to Income Polarization across Countries. *Journal of Policy Modeling*, 27(9).
- Duro, J. A. and E. Padilla (2006). Analysis of the International Distribution of per Capita CO<sub>2</sub> Emissions Using the Polarization Concept. *Energy Policy*, 36(1).
- Duro, J. A. and E. Padilla (2013). Cross-country Polarisation in CO<sub>2</sub> Emissions per Capita in the European

Union: Changes and Explanatory Factors. *Environmental and Resource Economics*, 54(4).

Esteban, J. , C. Gradin, and D. Ray (1999). Extensions of a Measure of Polarization, with an Application to the Income Distribution of Five OECD Countries, *Luxembourg Income Study Working Paper*, Series 218. Maxwell School of Citizenship and Public Affairs, Syracuse University, Syracuse, New York.

Esteban, J. M. and D. Ray (1994). On the measurement of polarization. *Econometrica*, 62(4).

Ezcurra, R. (2007). Is There Cross-country Convergence in Carbon Dioxide Emissions? *Energy Policy*, 35(2).

Foster, J. E. and M. C. Wolfson (1992). Polarization and the Decline of the Middle Class: Canada and the U. S. *OPHI Working Paper*, No. 31. University of Oxford.

Heil, M. T. and Q. T. Wodon (1997). Inequality in CO<sub>2</sub> Emissions Between Poor and Rich Countries. *The Journal of Environment and Development*, 6(4).

Vega, M. C. L. and M. A. Urrutia (2006). An Alternative Formulation of the Esteban-gradin-ray Extended Measure of Polarization. *Journal of Income Distribution*, 15(1).

Padilla, E. and A. Serrano (2006). Inequality in CO<sub>2</sub> Emissions across Countries and its Relationship with Income Inequality: A Distributive Approach. *Energy Policy*, 34(14).

Wolfson, M. (1994). Divergent Inequalities: Theory and Empirical Results. *Review of Income and Wealth*, 43(4).

Zhang, X. and R. Kanbur (2001). What Difference do Polarisation Measures Make? An Application to China. *Journal of Development Studies*, 37(3).

## Analysis of the Chinese Spatial Distribution of CO<sub>2</sub> Emissions: Using the Polarization Concept

CHEN Hao<sup>1,2</sup>, HAO Yu<sup>1,2</sup>, LIAO Hua<sup>1,2</sup>, WEI Yi-ming<sup>1,2</sup>

(1. Center for Energy and Environmental Policy Research,

Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. School of Management and Economics,

Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the previous research about the spatial distribution of carbon emissions under the polarization concept, this paper uses per capita carbon emissions data of 29 provinces in China since 1995 to 2011 to calculate EGR index, DER index and Wolfson index, which characterize the polarization degree of the provincial carbon emissions distribution in China. We analyze the trend of this polarization in the sample period and its corresponding cause. Moreover, we analyze the change of the “pole” in the carbon emissions distribution. Among some interesting conclusions, we find that the degree of polarization shows a downward trend in the sample period, of which one main cause is the reduced relative carbon emissions gap between the provinces. From the estimated results, we propose policy makers to increase the general applicability of the carbon emissions reduction policies, to reduce some of the region’s privilege and use the polarization index to aid carbon reduction policies design and test for the effectiveness of policies.

**Key Words:** carbon emissions; polarization degree; EGR index; DER index; Wolfson Index