

基于 GE 指数的中国地区碳排放差异分解

王 佳¹, 杨 俊²

(1. 西南财经大学 财政税务学院, 成都 611130; 2. 重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400030)

摘要:采用 IPCC 的方法,将化石能源细分为 17 种并考虑水泥生产测算了 1997—2010 年中国省际层面 CO₂ 排放量,从省际、东中西部和八大经济区域三个视角,运用 GE 指数组群分解方法实证研究了中国地区 CO₂ 排放强度差异状况。分解结果显示:总体差异主要由东中西部区域内的差异所解释,八大经济区域间的排放差异贡献了总体差异的大部分。

关键词:CO₂ 强度;地区差异;GE 指数;组群分解

中图分类号:F127 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2013)12—0173—05

近年来,中国环境问题日趋严重,资源环境已成为经济发展的硬性约束,碳排放的重要性不言而喻。2009 年,中国政府主动承诺:到 2020 年,单位国内生产总值(GDP)CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%。根据美国能源部 CO₂ 信息分析中心(CDIAC)的数据,2005 年中国成为全球 CO₂ 排放第一大国,2008 年 CO₂ 排放量更是占到全球的 23.55%,减排形势异常严峻。碳减排目标实现有赖于各地区的努力,这就意味着在分配减排任务时会存在较大的区域间利益冲突。同时,中国地区经济社会发展较为不平衡,同时地区间碳排放也存在较大差距。

20 世纪 90 年代初,国外一些学者将收入不平等的分析工具引入跨国碳排放差异的研究。Hedenus and Azar 运用 Atkinson 指数和最大五分之一和最小五分之一的相对和绝对差距来测度 1961—1999 年各国人均碳排放的不平等^[1];Duro and Padilla 使用可分解的排放不平等 Theil 系数,发现各国人均排放不平等很大程度上可归因于人均收入的不平等^[2]。

Groot 从理论上推导了离散和连续两种情形下的碳洛伦兹曲线及其性质,并进一步绘制出了广义洛伦兹曲线^[3]。Heil and Wodon 利用基尼系数度量跨国排放不平等,并对碳排放基尼系数进行分解,认为不同国家组间的排放不平等而不是国家组内的排放不平等对各国的总体排放不平等程度减轻起主要解

释作用^[4]。Padilla and Serrano 则将国际收入不平等与碳排放不平等联系起来,利用 1971—1999 年的跨国数据,将洛伦兹曲线、基尼系数、Kakeani 指数和 Theil 指数应用于度量单个国家间和国家集团间的碳排放不平等和收入不平等,并对其进行了族群分解,认为二者存在显著的正相关关系^[5]。Cantore and Padilla 进一步得到了这种正相关关系的稳健结果,认为其关键原因是技术进步^[6]。

然而,运用收入不平等工具来研究中国地区碳排放不平等的研究文献并不多见。Clarke-Sather et al. 运用变异系数、基尼系数和 Theil 指数来度量 1997—2007 年中国省际及地区(东部、西部和中部)CO₂ 排放不平等,并对其进行了分解,认为碳排放差异主要变现为地区内部的排放不平等^[7]。杨俊等则运用洛伦兹曲线、高矮序列(Parade of Dwarfs and Giants)和基尼系数等来分析中国省际 CO₂ 排放强度差异,进而探讨跨省 CO₂ 排放均等化以及中国政府减排目标的实现与否^[8]。杨骞和刘华军^[9]、刘华军和赵浩^[10]等也尝试对中国省际碳排放不平等指标进行了分解。

通过文献考察看出,以中国为研究对象的文献尚不多见。本文主要首先运用广义熵(Generalized Entropy, GE)指数中的对数离差均值(GE₀)、Theil 指标(GE₁)来度量中国地区碳排放的差异,并从省际、东西部、八大经济区域等三个视角对 GE 指数进行分

收稿日期:2013—09—05

基金项目:国家自然科学基金重点项目(71133007);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0883);中央高校基本科研业务费科研专项(CQDXWL-2012-Z020)

作者简介:王佳(1983—),男,河南修武人,西南财经大学财税学院讲师,数量经济学博士,研究方向:自然资源与环境经济学;杨俊(1972—),男,重庆铜梁人,重庆大学经济与工商管理学院党委书记、教授,技术经济及管理博士,研究方向:电力技术经济与数量经济学。

解,期望更加全面与深入探讨这一问题。

1 数据与方法

1.1 碳排放数据来源及测算

中国官方或权威机构并未公布 CO₂ 排放量的计算标准和中国地方 CO₂ 排放数据。根据国际惯例,本文主要关注由于化石能源燃烧带来的 CO₂ 排放。中国地区能源消耗量来自历年《中国能源统计年鉴》中的“地区能源平衡表(实物量)”,考虑数据的可得性和可比性,获取了 1997—2010 年的各省的数据;由于缺少西藏、台湾、香港、澳门的统计资料,共得到 30 个省份的对应数据。

在国内学者的地区 CO₂ 排放量计算中,一般将化石能源分为 3 类:煤炭、石油和天然气,也有根据中国能源统计口径分为 7 类或 8 类。为避免以往简单的一次能源划分方法导致误差偏大,本文将《中国能源统计年鉴》中的所有能源都包含在内,有原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品和天然气,共 17 种。

在测算方法上,本文选取的应用最为广泛的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》提供的 3 种方法中的方法 1,化石能源燃烧引起的 CO₂ 排放量公式如下:

$$CE = \sum_j CE_j = \sum_j (A_j \times N_j \times CC_j \times O_j \times B) \quad (1)$$

其中,CE 为各类化石能源消费的 CO₂ 排放总量; j 为化石能源的种类; A_j 第 j 种化石能源的消耗量; N_j 为第 j 种化石能源的发热值; CC_j 为第 j 种化石能源的含碳量; O_j 为第 j 种化石能源的氧化因子; B 为 CO₂ 分子与 C 元素质量比,即 44/12。

需要说明的是,考虑到中国政府承诺的减排目标是单位 GDP 的 CO₂ 排放,本文也以 CO₂ 排放强度来度量地区碳排放状况。

1.2 GE 指数的分解方法

广义熵 (Generalized Entropy, GE) 指数在不平等分析中应用十分广泛,因 α (代表厌恶不平等的程度) 的取值存在一系列指数,最为流行的有两个:对数离差均值 (GE₀)、Theil 指标 (GE₁)。若 C_i 代表 CO₂ 排放量, μ 代表观察值的平均值, n 代表样本数, y_j 代表 GDP 占比,则表达式为:

当 $\alpha=0$, GE 指数为对数离差均值 (GE₀), 则

$$GE_0 = \sum_{i=1}^n y_i \ln \frac{\mu}{C_i} \quad (2)$$

若 $\alpha=1$, 就得到所谓的 Theil 指数:

$$GE_1 = \sum_{j=1}^n y_j \frac{C_j}{\mu} \ln \frac{C_j}{\mu} \quad (3)$$

根据 Shorrocks and Wan, 可将 GE 指标分为 CO₂ 排放组内差异部分 W 和组间差异部分 B ^[11]。则有

$$GE = W + B \quad (4)$$

以对数离差均值 (GE₀) 为例, 有

$$B = \sum_{r=1}^n y_r \ln \left(\frac{\mu}{X_r} \right) \quad (5)$$

$$W = \sum_{r=1}^n w_r \sum_{i(r)=1}^N y_{i(r)} \ln \left(\frac{\mu}{X_{i(r)}} \right) \quad (6)$$

其中, n 为分组的个数, y_r 为 r 组的 CO₂ 排放在全部省份 CO₂ 排放总量中的占比, N 为 r 组中省份的个数, w_r 为 r 组的 CO₂ 排放占比, $y_{i(r)}$ 为 r 组中 i 省的 CO₂ 排放在该组中的占比。Theil 指标 (GE₁) 的子样本分解与对数离差均值 (GE₀) 的方法类似, 在此不再详述。

2 GE 指数分解结果

首先需要了解中国地区 CO₂ 排放差异的状况, 为了更好地进行比较, 除了两个 GE 指数外, 本文还计算了地区 CO₂ 排放差异的基尼系数, 正如图 1 所示。

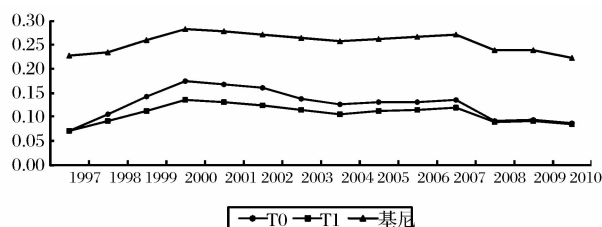


图 1 1997—2010 年省际 CO₂ 排放不平等程度

结果表明, 不同的差异指标大体上都显示出相似的变动趋势, 但在一些年份, 不同指标的变动幅度有很大不同。1997—2000 年, 对数离差均值 (GE₀) 和 Theil 指标 (GE₁) 增长幅度较大, 而基尼系数则增长幅度不大。以 1998 年为例, 前两个指标分别增长了 48.88% 和 32.31%, 而基尼系数仅增长了 2.96%。这就说明在这三年间, CO₂ 排放强度中等位置的省份变动不大, 而 CO₂ 排放强度水平高和低的省份变动剧烈。2006 年, 基尼系数和 Theil 指标 (GE₁) 在 2005 年的基础上分布增大了 1.79% 和 2.47%, 而对数离差均值 (GE₀) 增大了 0.72%。说明在该年份 CO₂ 排放强度中高水平的省份变动较大, 而 CO₂ 排放强度水平较低的省份变动较小。2009 年, Gini 系数在 2008 年基础上减少了 0.55%, 而对数离差均值 (GE₀) 和

Theil 指标(GE_1)分别增长了 0.99%和 1.31%,说明相对于 CO_2 排放强度水平较高和较低的省份, CO_2 排放强度水平中等的省份变动相对较大。

2.1 东中西部分解结果分析

根据前文的公式,对数离差均值(GE_0)的分解结果见表 1。结果显示,在 1997—2010 年,东部地区对数离差均值(GE_0)的均值为 0.060,中部地区对数离差均值(GE_0)均值为 0.126,西部为 0.110,显然中西部的 CO_2 排放不平等程度比东部地区大很多,接近 2 倍。分阶段来看,1997—2004 年,东部地区对数离差均值(GE_0)的均值为 0.054,中部地区 The 对数离差均值(GE_0)均值为 0.155,西部为 0.114。因此,在此阶段,中部地区的 CO_2 排放不平等程度最高,其次是西部地区,最后是东部地区,且与中西部差距较大。

2005—2010 年,东部地区对数离差均值(GE_0)的均值为 0.068,中部地区对数离差均值(GE_0)均值为 0.086,西部地区为 0.103。在此阶段,西部地区 CO_2 排放不平等程度最高,其次是中部地区,差异最小的是东部地区,中西部差异与东部差异在逐渐减小。东部地区对数离差均值(GE_0)在这 14 年间表现平稳,有小幅上升。西部地区 CO_2 排放差异则呈现波动态势,2000 年之前,明显扩大;之后呈现一定波动,但总体上增减变动不大,2007 年后,又有较大幅度的下降。中部地区在 2002 年前呈现大幅下降趋势,之后虽有小幅上升,基本呈现较快下降趋势。综合起来看,中、西部区域内的 CO_2 排放差异变动程度比东部大很多,以中部地区变动最为剧烈;中西部的变化方法基本相同,东部则正好相反。

表 1 1997—2010 年东中西部 GE_0 指标分解结果

年份	东部差异	中部差异	西部差异	区域内差异	区域间差异	区域内差异占比 (%)
1997	0.055	0.020	0.085	0.051	0.020	71.88
1998	0.049	0.113	0.074	0.076	0.030	71.59
1999	0.047	0.172	0.116	0.104	0.037	73.89
2000	0.056	0.223	0.133	0.131	0.044	74.91
2001	0.053	0.214	0.129	0.125	0.043	74.20
2002	0.057	0.231	0.114	0.126	0.035	78.28
2003	0.061	0.149	0.128	0.103	0.034	75.13
2004	0.055	0.121	0.134	0.093	0.032	74.09
2005	0.067	0.145	0.111	0.100	0.029	77.41
2006	0.065	0.120	0.120	0.095	0.036	72.46
2007	0.067	0.127	0.123	0.098	0.036	72.94
2008	0.068	0.040	0.097	0.066	0.025	72.33
2009	0.069	0.044	0.086	0.066	0.027	70.79
2010	0.071	0.040	0.083	0.065	0.021	75.69

对于三大区域内的 CO_2 排放差异,1997—2010 年对数离差均值(GE_0)均值为 0.093,占总差异的比例为 73.97%;同时,这 14 年间,区域内差异占比均在 70%以上,最小值为 2009 年的 70.79%,最大值为 2002 的 78.28%。毫无疑问,1997—2010 年东中西部区域间的 CO_2 排放不平等程度并不高,东中西部区域内的差异贡献了总体对数离差均值(GE_0)的大部分。也就是说,1997—2010 年的总体对数离差均值(GE_0)主要由东中西部区域内的差异所解释。

2.2 八大经济区域分解结果分析

按照 2005 年 6 月国务院发展研究中心发布的《地区协调发展的战略和政策》报告中的分法,本文将 30 个省份分成东北地区、北部沿海地区、东部沿海地区、南部沿海地区、黄河中游地区、长江中游地区、西

南地区、西北地区等八大经济区域,利用上文的分解方法对八大区域内与区域间 CO_2 排放不平等程度进行分解,结果见表 2 和表 3。

1997—2010 年,东北地区、北部沿海地区、东部沿海地区、南部沿海地区、黄河中游地区、长江中游地区、西南地区、西北地区 CO_2 排放的对数离差均值(GE_0)的均值分别为 0.004 51、0.055 76、0.002 30、0.006 15、0.133 48、0.011 89、0.124 72、0.040 25,因此 CO_2 排放不平等程度最高的是黄河中游地区和西南地区(二者相差不大),其次是北部沿海地区和西北地区, CO_2 排放差异最小的是东部沿海地区。1997—2004 年,东北地区、北部沿海地区、东部沿海地区、南部沿海地区、黄河中游地区、长江中游地区、西南地区、西北地区 CO_2 排放差异 GE_0 的均值分别为

0.004 07、0.042 40、0.001 69、0.004 91、0.163 22、0.015 81、0.139 86、0.038 08,在此阶段,CO₂排放差异最大的是黄河中游地区和西南地区(二者有所区别),其次是北部沿海地区和西北地区,差异最小的是东部沿海地区。2005—2010 年,东北地区、北部沿海地区、东部沿海地区、南部沿海地区、黄河中游地区、长江中游地区、西南地区、西北地区 CO₂ 排放差异

GE₀ 的均值分别为 0.005 10、0.073 57、0.003 12、0.007 81、0.093 83、0.006 66、0.104 53、0.043 14,在此阶段,CO₂ 排放差异最大的是西南地区,其次是黄河中游地区和北部沿海地区,差异最小的是东部沿海地区。因此,这 14 年间,八大经济区域的 CO₂ 排放不平等态势基本是相同的,差异最大的为黄河中游地区和西南地区,最小的为东部沿海地区。

表 2 1997—2010 年八大经济区域 GE₀ 指标分解结果

年份	东北	北部沿海	东部沿海	南部沿海	黄河中游	长江中游	西南	西北
1997	0.009 88	0.030 61	0.002 75	0.010 26	0.034 06	0.012 78	0.072 61	0.036 62
1998	0.005 89	0.023 39	0.002 51	0.011 95	0.139 06	0.009 30	0.084 07	0.009 02
1999	0.005 59	0.029 22	0.001 85	0.006 51	0.193 17	0.018 54	0.161 18	0.006 82
2000	0.000 50	0.050 63	0.001 32	0.004 70	0.237 74	0.024 63	0.179 95	0.031 66
2001	0.002 08	0.042 57	0.000 68	0.003 94	0.215 56	0.017 30	0.178 74	0.031 90
2002	0.002 65	0.052 25	0.000 87	0.000 95	0.206 80	0.007 66	0.142 08	0.041 67
2003	0.004 19	0.062 68	0.001 20	0.000 05	0.166 38	0.026 85	0.140 15	0.100 29
2004	0.001 77	0.047 80	0.002 32	0.000 91	0.112 99	0.009 45	0.160 06	0.046 69
2005	0.017 13	0.066 12	0.004 75	0.005 25	0.140 50	0.004 50	0.134 03	0.047 82
2006	0.004 60	0.066 68	0.004 22	0.005 92	0.126 58	0.005 26	0.138 97	0.052 22
2007	0.001 44	0.068 64	0.003 85	0.007 89	0.141 08	0.004 56	0.136 05	0.043 67
2008	0.003 85	0.075 55	0.002 64	0.008 98	0.055 16	0.007 77	0.073 55	0.040 96
2009	0.001 13	0.080 73	0.002 31	0.012 28	0.050 42	0.009 74	0.074 95	0.032 45
2010	0.002 47	0.083 70	0.000 97	0.006 55	0.049 22	0.008 12	0.069 66	0.041 73

表 3 1997—2010 年八大经济区域 GE₀ 指标分解结果

年份	区域内差异	区域间差异	总体差异	区域间差异占比(%)
1997	0.025 68	0.045 46	0.071 15	63.90
1998	0.043 88	0.062 04	0.105 92	58.57
1999	0.067 76	0.073 47	0.141 23	52.02
2000	0.086 39	0.088 32	0.174 71	50.55
2001	0.079 44	0.088 72	0.168 16	52.76
2002	0.074 58	0.086 29	0.160 87	53.64
2003	0.069 34	0.068 41	0.137 74	49.66
2004	0.054 06	0.070 95	0.125 01	56.76
2005	0.063 23	0.066 36	0.129 59	51.21
2006	0.060 23	0.070 29	0.130 52	53.85
2007	0.063 33	0.071 47	0.134 80	53.02
2008	0.038 72	0.053 17	0.091 89	57.86
2009	0.038 80	0.054 00	0.092 79	58.19
2010	0.037 95	0.048 33	0.086 28	56.01

从 CO₂ 排放不平等的变化动态来看,在 1997—2010 年,八大区域 CO₂ 排放强度差异呈现不同态势:黄河中游地区和西南地区,CO₂ 排放的差异以较快速度上升;北部沿海地区和西北地区过程有所波动,整体在缓慢上升;东北地区、东部沿海地区、南部沿海地区、长江中游地区变化不大。显然,CO₂ 排放不平等

程度最高的是黄河中游地区和西南地区,呈现“过山车”趋势。如,黄河中游地区,2000 年其 GE₀ 值达到 0.23774,之后迅速下降,2010 年为 0.04922,相差近 5 倍。其余六个地区变化形式较为缓和,并未出现大起大落(见图 5.8)。其中,东部沿海地区 CO₂ 排放差异几乎未发生变化。

从八大经济区内 CO₂ 排放差异与区间 CO₂ 排放差异的比较来看,区域间差异略大于区域内差异。1997—2010 年八大经济区域内 CO₂ 排放差异均值为 0.062 64,区间 CO₂ 排放差异为 0.072 96,区域间 CO₂ 排放差异占总体差异的比例为 60.60%。区域间 CO₂ 排放差异占总体差异的比例均在 50%以上,只有在 2003 年未达到 50%,为 49.66%。因此,1997—2010 年,区域间 CO₂ 排放差异占据了总体差异的大部分。

从动态趋势来看,在 1997—2000 年,八大经济区域内 CO₂ 排放差异与区域间 CO₂ 排放差异都处于上升态势,之后,总体上处于下降态势。八大经济区域内 CO₂ 排放差异与区域间 CO₂ 排放差异同总体差异的趋势相同,基本都是先上升后下降的趋势。虽然,区域间 CO₂ 排放差异总体上比区域内 CO₂ 排放差异

大,但是二者十分接近,同时趋势基本相同。

3 结论及政策含义

本章运用 GE 指数(主要是 GE_0)的分解方法,从省际、东中西部、八大经济区域三个维度分析 1997—2010 年的中国地区 CO_2 排放差异状况。总的来看,八大经济区域间 CO_2 排放差异大于东中西部三大区域间差异。

1997—2010 年,八大经济区域间的 CO_2 排放差异的 GE_0 均值为 0.067 7,占总差异的 54.86%,而东中西部地区间的 CO_2 排放差异的 GE_0 均值为 0.032 2,占总差异的 25.76%。平均而言,八大经济区域间的 CO_2 排放差异是东中西部地区间的 2.1 倍。就近期来看,2010 年,八大经济区域间的 CO_2 排放差异的 GE_0 值为 0.0483,占总差异的 56.01%,而东中西部地区间为 0.021 0,占总差异的 24.31%,八大经济区域间的 CO_2 排放差异是东中西部地区间的 2.3 倍。由于八大经济区域间 CO_2 排放差异大于东中西部三大区域间差异,说明八大区域间存在更强的空间关系,因此,从控制 CO_2 排放的角度来看,八大经济区域的划分方法可能优于东中西部的划分方法。

本文结论具有明显的政策涵义:政府应充分重视地区 CO_2 排放差异现象,在宏观经济调控方法,如区域间产业梯度转移、区域内产业布局等,需要考虑带来的 CO_2 排放,并作为 CO_2 排放配额的依据之一;节能减排政策的制定不一定以省级行政单位作为施行主体,可以适当考虑区域(如八大经济区域)的作用;其可能路径之一,中央政府可以通过能源类、电力类中央企业作为依托,以八大经济区域为块,制定、实施能源等相关政策。

参考文献

[1] HEDENUS F, AZAR C. Estimates of trends in global in-

come and resource inequalities[J]. *Ecological Economics*, 2005,55(3):351—364.

[2] DURO J A, PADILLA E. International inequalities in per capita CO_2 emissions: a decomposition methodology by Kaya factors[J]. *Energy Economics*, 2006,28: 170—187.

[3] GROOT L. Carbon Lorenz curves[J]. *Resource and Energy Economic*, 2010,32: 45—64.

[4] HEIL M T, WODON Q T. Future inequality in CO_2 emissions and the impact of abatement proposals[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2000,17:163—181.

[5] PADILLA E, SERRANO A. Inequality in CO_2 emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach[J]. *Energy Policy*, 2006,34: 1762—1772.

[6] CANTORE N, PADILLA E. Equality and CO_2 emissions distribution in climate change integrated assessment modeling[J]. *Energy*, 2010,35(1):298—313.

[7] CLARKE-SATHER A, QU J, WANG Q, ZENG J, LI Y. Carbon inequality at the sub-national scale: A case study of provincial-level inequality in CO_2 emissions in China 1997—2007[J]. *Energy Policy*, 2011,39:5420—5428.

[8] 杨俊,王佳,张宗益. 中国省际碳排放差异与碳减排目标实现——基于碳洛伦兹曲线的分析[J]. *环境科学学报*, 2012(8):2016—2023.

[9] 杨骞,刘华军. 中国二氧化碳排放的区域差异分解及影响因素——基于 1995—2009 年省际面板数据的研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2012(5):36—49.

[10] 刘华军,赵浩. 中国二氧化碳排放强度的地区差异分析[J]. *统计研究*, 2012(6):46—50.

[11] SHORROCKS A, WAN G. Spatial Decomposition of Inequality[J]. *Journal of Economic Geography*, 2005,5(1):59—82.

Decomposition of the Regional Differences of China's Carbon Dioxide Emissions Via GE Index

WANG Jia¹, YANG Jun²

(1. School of Public Finance and Taxation, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China;

2. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In this paper, we measure China's provincial-level carbon dioxide emissions of 1997—2010 with IPCC method, and empirically study the regional differences of China's carbon dioxide emissions intensity according to the GE index's subgroup decomposition method from the three perspectives of provincial-level, East-central-west, and the eight economic regions. The results show that total difference is mainly explained by the differences within the eastern central and western regions, while differences between the eight economic regions contribute most of the regional differences of carbon dioxide emissions intensity in China.

Key words: carbon dioxide emission intensity; regional difference; GE index; subgroup decomposition