

# 中国碳排放的区域差异及其与经济增长的关联分析

谢守红<sup>①</sup>, 薛红芳, 邵珠龙 (江南大学商学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 采用政府间气候变化专门委员会(IPCC)的碳排放测算方法,计算了除香港、澳门、台湾和西藏外中国 30 个省(市、自治区)1995—2010 年的碳排放量,并选取碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放量 3 个指标,运用多指标面板数据聚类法,将各省份划分为高、中和低碳排放区域;高碳排放区域包括河北、山西、内蒙古、辽宁、山东和宁夏,低碳排放区域包括北京、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、云南、陕西和青海,中碳排放区域包括天津、吉林、黑龙江、上海、江苏、河南、贵州、甘肃和新疆。分别对 3 类地区的人均碳排放量和人均 GDP 进行协整检验和回归分析,结果显示人均碳排放量和人均 GDP 存在长期协整关系且符合环境库兹涅茨曲线,高、中和低碳排放区域的理论曲线拐点分别为人均 GDP 41 046、50 219 和 47 049 元。今后一段时期内我国碳排放总量还将继续增长,但 GDP 的增长速度大于碳排放量的增长速度,碳排放强度会继续下降。

**关键词:** 碳排放; 区域差异; 环境库兹涅茨曲线; 中国

**中图分类号:** X22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2013)04-0443-06

**Correlation Analysis of Regional Difference in Carbon Emission With Economic Growth in China.** XIE Shou-hong, XUE Hong-fang, SHAO Zhu-long (School of Business, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Carbon emissions of 30 provinces, metropolis or autonomous regions (except Hong Kong, Macao, Taiwan and Tibet) of China from 1995 to 2010 were calculated using the IPCC method. Based on total carbon emission, carbon emission intensity and carbon emission per capita, the three indices, the 30 provinces, metropolis and autonomous regions were sorted into 3 categories or grades, i.e. high, moderate and low in carbon emission, through cluster analysis of multivariable panel data. In Grade High, there were Hebei, Shanxi, Inner Mongolia, Liaoning, Shandong, Ningxia, in Grade Low, Beijing, Zhejiang, Anhui, Fujian, Jiangxi, Hubei, Hunan, Guangdong, Guangxi, Hainan, Chongqing, Sichuan, Yunnan, Shaanxi, Qinghai, and in Grade Moderate, Tianjin, Jilin, Heilongjiang, Shanghai, Jiangsu, Henan, Guizhou, Gansu, Xinjiang. Besides, cointegration test and regression analysis was performed of carbon emissions and GDP per capita of the three groups. Results show that a co-integration relationship had long been existing between carbon emissions per capita and GDP per capita and fit the environmental Kuznets inverse U curve, and the knee of the theoretical curve of the three groups, high, moderate and low was 41 046, 50 219 and 47 049 yuan (RMB) in GDP per capita, respectively. It is predicted that the total carbon emission of the country will keep on increasing for a long time, however, with a growth rate of carbon emission lower than that of the GDP, which means the carbon emission intensity will keep on declining.

**Key words:** carbon emission; regional difference; environmental Kuznets curve; China

温室气体过量排放是气候变暖的重要原因,以低能耗、低排放和低污染为特征的低碳经济成为全球关注的焦点<sup>[1]</sup>。由于国际上的温室气体减排压力增加以及国内能源紧张、环境恶化的现状,中国发展低碳经济的要求尤为迫切。中国在 2009 年哥本哈根气候变化峰会上作出承诺,将采取自主减排行动,到 2020 年实现碳排放强度在 2005 年的基础上降低 40%~45%<sup>[2]</sup>。

近年来,对于碳排放和经济增长关系的研究已成为国内外关注的焦点。SHAFIK<sup>[3]</sup>对 1960—1990 年 149 个国家的 CO<sub>2</sub> 排放量与人均收入的关系进行研究,发现两者呈线性正相关;SCHMALESEE 等<sup>[4]</sup>研究了发达国家碳排放与人均收入间的关系,

认为两者存在倒“U”型曲线关系;COONDOO 等<sup>[5]</sup>发现不同国家 CO<sub>2</sub> 排放量与人均收入之间的格兰杰因果关系不同;FRIEDL 等<sup>[6]</sup>分析了 1960—1999 年奥地利 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长的关系,发现两者关系呈“N”型而非倒“U”型。李国志等<sup>[7]</sup>根据 CO<sub>2</sub> 排放量将中国 30 个省(市、自治区)分为低、中和高 3 种碳排放区域,认为 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长间的倒“U”型环境库兹涅茨曲线特征较明显;宋德勇等<sup>[8]</sup>

收稿日期: 2013-01-29

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET100460); 中央高校基本科研业务费专项(JUSRP311A07)

① 通信作者 E-mail: xieshouhong@163.com

对中国碳排放的影响因素及周期性波动进行研究,发现不同经济增长方式的差异是碳排放波动的重要原因;谭丹等<sup>[9]</sup>运用灰色关联度分析法分析中国东、中和西部地区碳排放的特征和差异,发现东部地区碳排放量最大、西部最小,且东部地区碳排放增长速度最快、中部最慢。目前对碳排放区域的划分多基于单一指标(如碳排放量),或根据现有的东、中和西部区域划分,略显依据不足。为此,笔者计算1995—2010年中国30个省(市、自治区)的碳排放量,根据碳排放量、碳排放强度和人均碳排放量3个指标,把各省份分为高、中和低碳排放区域,分析区域间的差异,并对各区域碳排放量和经济增长的关系进行研究。

## 1 中国各省(市、自治区)碳排放量的测算

### 1.1 数据来源与测算方法

数据来源为1996—2011年的《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》<sup>[10-11]</sup>。因《中国能源统计年鉴》中缺乏香港、澳门、台湾和西藏的能源数据,故未将这几个地区纳入分析范围。碳排放的主要来源是化石燃料能源,根据《中国能源统计年鉴》统计口径,化石燃料能源分为煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气8类。根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)规定的碳排放因子和《能源统计知识手册》<sup>[12]</sup>中的能源平均低位发热量计算各类能源的碳排放系数,得到煤炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和液化石油气的碳排放系数[碳排放量(t)/能源质量(t)]分别为0.747 6、0.836 3、0.814 0、0.844 2、0.861 6、0.882 3和0.863 1,天然气的碳排放系数[碳排放量(t)/天然气体积( $10^3 \text{ m}^3$ )]为0.595 6。将各类能源消费量乘以相应的碳排放系数,即可计算出各省份的碳排放量,计算公式为

$$C = \sum C_i = \sum E_i \cdot F_{CE,i} \cdot V_{NC,i}, \quad (1)$$

$$T = C/G, \quad (2)$$

$$C_p = C/P. \quad (3)$$

式(1)~(3)中, $C$ 为碳排放量,万t; $C_i$ 为第*i*种能源的碳排放量,万t; $E_i$ 为第*i*种能源的消费量,万t或 $10^3 \text{ m}^3$ ; $F_{CE,i}$ 为第*i*种能源的碳排放因子, $\text{kg} \cdot (\text{GJ})^{-1}$ ; $V_{NC,i}$ 为第*i*种能源的平均低位发热量, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; $T$ 为碳排放强度, $\text{t} \cdot \text{万元}^{-1}$ ; $G$ 为各区域GDP,亿元; $C_p$ 为人均碳排放量,t; $P$ 为各区域人口数量,万人。

### 1.2 测算结果与分析

首先根据中国30个省(市、自治区)的能源消

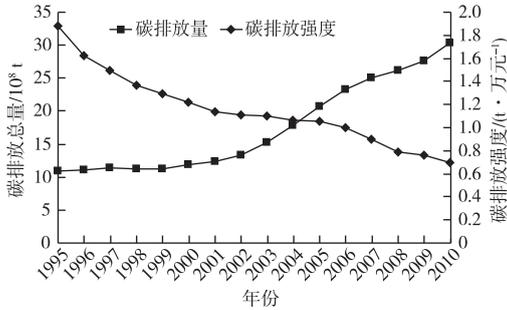
耗数据计算1995—2010年各省份的碳排放量,再以碳排放量分别除以GDP和人口数,得到碳排放强度和人均碳排放量(表1)。其中,碳排放强度指单位GDP的碳排放量,反映了经济发展的质量。从表1可知,2010年中国各省份的碳排放量、碳排放强度和人均碳排放量均存在较大差异。山东、河北、山西、江苏、辽宁、河南、内蒙古、广东和浙江碳排放量较大,青海、海南、宁夏、北京、重庆、广西、甘肃和江西碳排放量较小;宁夏、山西、内蒙古、新疆、贵州、甘肃和河北碳排放强度较高,北京、广东、福建、浙江、上海和江苏碳排放强度较低;内蒙古、宁夏、山西、辽宁、天津、新疆、上海和山东人均碳排放量较多,而广西、江西、四川、湖南、云南和安徽人均碳排放量较少。

表1 2010年中国30个省(市、自治区)的碳排放量、碳排放强度和人均碳排放量

Table 1 Carbon emissions, carbon emission intensities and carbon emissions per capita of 30 provinces, metropolis and autonomous regions in China in 2010

省(市、自治区)	碳排放量/ 万t	碳排放强度/ ( $\text{t} \cdot \text{万元}^{-1}$ )	人均碳排放量/ t
北京	3 843.258	0.272	1.960
天津	5 095.092	0.552	3.938
河北	22 155.890	1.086	3.083
山西	18 618.700	2.024	5.214
内蒙古	16 867.290	1.445	6.827
辽宁	18 572.240	1.006	4.245
吉林	6 984.572	0.806	2.543
黑龙江	9 572.405	0.923	2.499
上海	7 475.093	0.435	3.247
江苏	18 611.000	0.449	2.366
浙江	11 986.150	0.432	2.202
安徽	8 738.186	0.707	1.469
福建	6 297.439	0.427	1.707
江西	4 784.682	0.506	1.074
山东	30 187.730	0.771	3.151
河南	16 924.050	0.733	1.800
湖北	10 035.330	0.628	1.753
湖南	8 135.034	0.507	1.239
广东	16 044.340	0.349	1.538
广西	4 766.786	0.498	1.036
海南	1 505.341	0.729	1.736
重庆	4 387.604	0.554	1.521
四川	9 568.287	0.557	1.190
贵州	6 490.987	1.410	1.868
云南	6 627.066	0.917	1.442
陕西	9 532.137	0.942	2.554
甘肃	4 771.667	1.158	1.866
青海	1 142.186	0.846	2.023
宁夏	3 633.006	2.150	5.765
新疆	7 669.023	1.410	3.516
合计	301 022.600	0.690	2.264

总体来看,1995—2010年中国碳排放量呈逐年增长趋势,年平均增长率为7.2%,其增长趋势可以划分为2个不同阶段:1995—2001年为平稳增长期,年平均增长率为2.1%;2002—2010年为快速增长期,年平均增长率为10.6%。1995—2010年中国碳排放强度呈稳步地逐年下降趋势,平均年下降幅度为6.3%(图1)。



缺乏香港、澳门、台湾和西藏的能源数据。

图1 1995—2010年中国碳排放总量和碳排放强度变化  
Fig.1 Total carbon emissions and carbon emission intensities of China from 1995 to 2010

## 2 中国各省份碳排放的区域差异分析

### 2.1 多指标面板数据聚类分析

面板数据指同时在截面和时间上取得的二维数据<sup>[13]</sup>。聚类分析的基本思想是根据样本的多个观测指标,找出能够度量样本或指标之间相似程度的统计量,据此将相似程度较大的样本聚合为一类,形成一个由大到小的分类系统<sup>[14]</sup>。在对中国各省份碳排放进行分类时,由于单一指标包含的样本信息较少,难以对样本特征进行全面地描述。因此,选择碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放量3个指标进行聚类分析。

首先,对1995—2010年的面板数据进行标准化处理,对3个指标的标准化面板数据相加求和;然后,选取欧氏距离度量数据之间的亲疏程度,

$$d_{ij} = \left[ \sum_{t=1}^m |x_{it} - x_{jt}|^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

式(4)中, $d_{ij}$ 为样本 $X_i$ 与 $X_j$ 之间的距离; $m$ 为空间维度; $x_{it}$ 为样本 $i$ 在空间 $t$ 中的位置; $x_{jt}$ 为样本 $j$ 在空间 $t$ 中的位置。

最后,采用离差平方和法进行系统聚类分析,得到聚类谱系图(图2)。根据聚类谱系图,可将30个省(市、自治区)分为3类。

高碳排放区域集中分布在我国北方,包括河北、山西、内蒙古、辽宁、山东和宁夏,是高能耗产业

的主要分布区域,煤炭消费量占能源消费总量的比例高,工业尤其是重工业占GDP的比例大。高碳排放区域省份的主要特征为碳排放总量大,碳排放强度高,人均碳排放量大。宁夏由于人口少,面积较小,经济总量小,其碳排放总量不高,但碳排放强度最高且人均碳排放量居第2位,所以也属于高碳排放区域。



图2 中国30个省(市、自治区)碳排放聚类谱系图  
Fig.2 Hierarchical graphs of carbon emission of the 30 provinces, metropolis and autonomous regions in China

低碳排放区域包括北京、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、云南、陕西和青海。区域内产业结构比较合理,同其他区域相比,第三产业所占比例较高,水电等新能源丰富,能源利用结构较优。低碳排放区域省份的碳排放总量相对较少,碳排放强度低,人均碳排放量小。广东省的碳排放总量较大,但其碳排放强度最低,人均碳排放量低,所以也归属于低碳排放区域。

中碳排放区域包括天津、吉林、黑龙江、上海、江苏、河南、贵州、甘肃和新疆。从地理分布上看,其处于高与低碳排放区域的交界处,综合了高和低碳排放区域的碳排放特征。中碳排放区域多为经

济或人口大省,碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放3个因素中有1个或者2个较高。

### 2.2 区域差异性分析

根据1995—2010年各省份的碳排放数据和聚类分析结果可以发现,2010年高碳排放区域的碳排放量占全国碳排放总量的36%,而GDP仅占全国GDP总量的23%;中碳排放区域的碳排放量占全国碳排放总量的28%,GDP占全国GDP总量的28%;低碳排放区域碳排放量占全国碳排放总量的35%,GDP占全国GDP总量的49%。由图3可知,3个区域的碳排放量均呈逐年增加趋势,且具有明显的阶段性:1995—2001年为平稳增长阶段,高、中和低碳排放区域碳排放量的年均增长率分别为2.278%、2.082%和2.015%;2002—2010年为快速增长阶段,高、中和低碳排放区域碳排放量的年均增长率分别为10.185%、8.821%和9.801%。

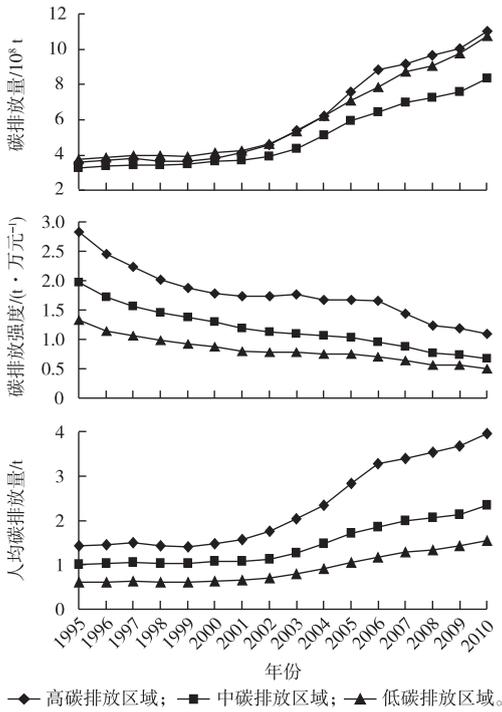


图3 1995—2010年高、中、低碳排放区域碳排放量、碳排放强度和人均碳排放量变化

Fig. 3 Carbon emissions, carbon emission intensities and carbon emissions per capita of the three groups, high, moderate and low in carbon emission from 1995 to 2010

总体上看,各地区的GDP增长速度均大于碳排放量的增长速度,说明经济发展质量逐步提高,碳排放强度降低。高碳排放区域碳排放强度的年均递减速度为6.01%,中碳排放区域碳排放强度的年

均递减速度为6.87%,低碳排放区域碳排放强度的年均递减速度为6.13%。3类区域的人均碳排放量均呈逐年增加趋势,高、中和低碳排放区域人均碳排放量的年均增长率分别为6.541%、5.369%和6.031%。

总体来看,高和中碳排放区域占据了我国北方的大部分版图,低碳排放区域则主要分布在南方,呈现明显的南北差异。这主要有以下几方面的原因:(1)北方是我国煤炭的主要产区,煤炭消费量占能源消费总量的比例较高;(2)高碳排放区域的单位GDP能耗较高,粗放型的增长方式制约了经济发展质量的提高;(3)高和中碳排放区域多为经济和人口大省,碳排放总量较大;(4)产业结构对碳排放量有较大影响,高和中碳排放区域第二产业尤其是重工业所占比例较高。

变异系数为标准差与平均数的比值,可以衡量各观测值的变异程度。分别计算3类区域间碳排放总量、人均碳排放量和碳排放强度的变异系数(图4),发现3类区域间的碳排放差异呈不断扩大趋势。区域间碳排放总量的变异系数由1995年的0.0698增长到2010年的0.1451;碳排放强度的变异系数由1995年的0.3689增长到2010年的0.3990;人均碳排放的变异系数由1995年的0.4075增长到2010年的0.4697。高碳排放区域的碳排放量和人均碳排放量年均增长率均高于中和低碳排放区域,而碳排放强度的年均递减速度低于中和低碳排放区域,且差距越来越大。中碳排放区域的碳排放量和人均碳排放量年均增长率均低于低碳排放区域,且碳排放强度的年均递减速度高于低碳排放区域,说明中和低碳排放区域间的差距在缩小。

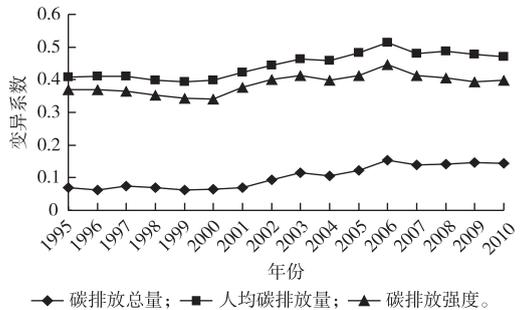


图4 1995—2010年高、中和低碳排放区域碳排放的变异系数

Fig. 4 Coefficients of variation of carbon emission of the three groups from 1995 to 2010

### 3 碳排放与经济增长的关联分析

#### 3.1 模型构建

环境库兹涅茨曲线指在经济发展初期阶段,随着人均收入增加,环境质量下降,在人均收入达到一定程度后,环境质量随着人均收入的增加而改善,环境质量与人均收入水平之间呈倒“U”型关系<sup>[15]</sup>。在不同经济发展阶段,经济增长与碳排放的关系有所不同。对于正处在经济快速发展阶段,加快经济发展以求脱贫致富的国家来说,经济增长和碳排放有较强的正相关性;而对于处于工业化后期,从工业化向信息化转型的国家来说,由于技术进步、环境政策、产业结构和能源结构优化等因素,经济增长对能源消耗的依赖程度降低,经济增长与碳排放的相关性减弱,甚至出现碳排放量随经济增长而下降的现象<sup>[16]</sup>。

通过绘制散点图,并采用线性、二次项、立方、指数和对数等函数对散点图进行描述,发现二次方程拟合程度最好。因此,构建碳排放库兹涅茨曲线模型为

$$C_p = \alpha + \beta_1 G_p + \beta_2 G_p^2 \quad (5)$$

式(5)中, $C_p$  为人均碳排放量,t; $\alpha$ 、 $\beta_1$  和  $\beta_2$  为常数项; $G_p$  为人均 GDP,万元。

#### 3.2 平稳性检验

为避免伪回归问题,需要对时间序列数据进行平稳性检验。对  $C_p$ 、 $G_p$  和  $G_p^2$  进行 ADF 单位根检验,发现概率值  $P < 0.05$ ,数据不平稳;对其一阶差分序列进行单位根检验,发现其一阶差分序列仍不平稳;对原序列的二阶差分序列进行单位根检验,发现二阶差分序列平稳。

#### 3.3 协整检验

一些经济变量虽然是非平稳的,但是他们之间的线性组合却可能是平稳的,即这些变量之间在长期的均衡关系。由 ADF 单位根检验可知  $C_p$ 、 $G_p$  和  $G_p^2$  均为二阶单整序列,因此,运用 EG 两步法进行协整检验,从而验证碳排放库兹涅茨曲线的存在。首先用普通最小二乘法(OLS)进行协整回归,估计出协整向量以计算残差,对残差进行 ADF 单位根检验,发现数据序列平稳,表明  $C_p$ 、 $G_p$  和  $G_p^2$  之间存在长期协整关系。

#### 3.4 回归分析

运用 OLS 法分别对高、中和低碳排放区域进行二次方程回归,得到其库兹涅茨曲线模型分别为: $C_p = 0.3239 + 1.7822G_p - 0.2171G_p^2$ ,  $C_p = 0.5112 + 0.8045G_p - 0.0801G_p^2$ ,  $C_p = 0.2519 + 0.6314G_p - 0.0671G_p^2$ 。3个区域的碳排放库兹涅茨曲线见图5。

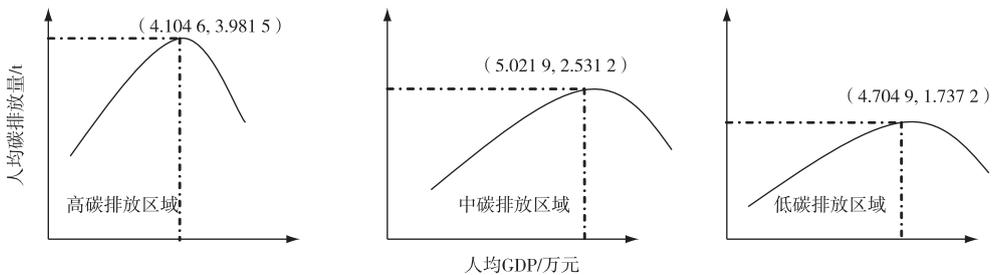


图5 高、中和低碳排放区域的碳排放库兹涅茨曲线  
Fig.5 Kuznets curves of carbon emission of the three groups

3类区域库兹涅茨曲线模型中 $\beta_1$  均为正, $\beta_2$  均为负,说明高、中和低碳排放区域都存在碳排放拐点,人均碳排放量和人均 GDP 呈倒“U”型曲线关系,是典型的库兹涅茨曲线。根据拐点计算公式  $\varepsilon = -\beta_1/2\beta_2$ ,可以计算得出:高碳排放区域的拐点出现在人均 GDP 41 046 元时,中碳排放区域的拐点出现在人均 GDP 50 219 元时,低碳排放区域的拐点出现在人均 GDP 47 049 元时。

高碳排放区域中内蒙古和辽宁已达到理论上的碳排放库兹涅茨曲线拐点,中碳排放区域中天津、

上海和江苏已达到拐点,低碳排放区域中北京和浙江已达到拐点。林伯强等<sup>[17]</sup>指出中国碳排放库兹涅茨曲线的理论拐点为 2020 年左右人均 GDP 37 170 元,但实证预测表明拐点到 2040 年仍未出现;除收入外,能源强度、能源消费结构和产业结构都对碳排放有显著影响,不同的经济发展方式、能源消费结构、能源利用效率和产业结构均会影响碳排放库兹涅茨曲线的形状。优化能源消费结构、制定科学的环境保护政策和优化产业结构,可以使曲线更加平缓,拐点提早到来。

## 4 结论

采用 IPCC 关于碳排放测算的方法, 计算了中国 30 个省(市、自治区)(不含香港、澳门、台湾和西藏) 1995—2010 年的碳排放量, 并选取碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放量 3 个指标, 运用多指标面板数据聚类法, 将各省份分为 3 类: 高碳排放区域集中分布在我国北方, 包括河北、山西、内蒙古、辽宁、山东和宁夏, 低碳排放区域包括北京、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、云南、陕西和青海, 中碳排放区域包括天津、吉林、黑龙江、上海、江苏、河南、贵州、甘肃和新疆。高、中和低碳排放区域之间在碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放量上存在较大差异。

高、中和低碳排放区域的人均碳排放量和人均 GDP 符合碳排放库兹涅茨曲线, 且不同区域的曲线拐点不同, 高碳排放区域理论拐点为人均 GDP 41 046 元, 中碳排放区域为 50 219 元, 低碳排放区域为 47 049 元。总体而言, 无论是高、中还是低碳排放区域, 都还处在碳排放库兹涅茨曲线的前半阶段, 整体上还没有到达拐点, 今后一段时期内我国碳排放总量还将继续增长, 但 GDP 的增长速度大于碳排放量的增长速度, 碳排放强度会继续下降。今后, 我国各省份主要应从产业结构和能源消费两个方面采取有力措施, 促使碳排放库兹涅茨曲线拐点提早到来。

### 参考文献:

- [1] 付允, 马永欢, 刘怡君, 等. 低碳经济的发展模式研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2008(3): 14-19.
- [2] 赵晋平. 低碳贸易-节能目标约束下的贸易结构调整[M]. 北京: 中国发展出版社, 2011: 1-3.
- [3] SHAFIK N. Economic Development and Environmental Quality: An

Economic Analysis [J]. Oxford Economic Papers, 1994, 46: 757-773.

- [4] SCHMALESEE R, STOKER T M, JUDSON R A. World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050 [J]. Review of Economics and Statistics, 1998, 80(1): 15-27.
- [5] COONDOO D, DINDA S. Causality Between Income and Emission: A Country Group-Specific Econometric Analysis [J]. Ecological Economics, 2002, 40(3): 351-367.
- [6] FRIEDL B, GETZNER M. Determinates of CO<sub>2</sub> Emissions in a Small Open Economy [J]. Ecological Economics, 2003, 45(1): 133-148.
- [7] 李国志, 李宗植. 中国二氧化碳排放的区域差异和影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010(5): 22-27.
- [8] 宋德勇, 卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2009(3): 18-24.
- [9] 谭丹, 黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口·资源与环境, 2008(3): 54-57.
- [10] 国家能源局. 中国能源统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1996—2011.
- [11] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1996—2011.
- [12] 国家统计局能源司. 能源统计知识手册 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006: 161-162.
- [13] 白仲林. 面板数据的计量经济分析 [M]. 天津: 南开大学出版社, 2008: 6.
- [14] 邓维斌, 唐兴艳, 胡大权, 等. SPSS 19.0 统计分析实用教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 240-241.
- [15] 钟茂初, 张学刚. 环境库兹涅茨曲线理论及研究的批评综述 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010(2): 62-67.
- [16] 李玉文, 徐中民, 王勇, 等. 环境库兹涅茨曲线研究进展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2005(5): 7-14.
- [17] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析 [J]. 管理世界, 2009(4): 27-36.

**作者简介:** 谢守红(1966—), 男, 湖南新邵人, 教授, 博士后, 主要研究方向为区域经济、技术经济和企业管理。E-mail: xieshouhong@163.com