我国碳排放的区域差异及驱动因素分析*
——基于脱钩和三层完全分解模型的实证研究

仲云云,仲伟周
(西安交通大学 经济与金融学院,陕西 西安 710061)

摘　要:文章通过计算 1995—2009 年我国 29 个省市的碳排放量,揭示了我国碳排放的区域差异特征,并进一步构建"LMDI 三层完全分解模型",研究了各地区碳排放增长的 9 类驱动因素,其中人均 GDP 是促进碳排放增长的决定因素,产业部门的能源强度下降是抑制碳排放增长的主要因素。文章根据这 9 类因素对各地区碳排放增长的影响方向和影响程度及其导致区域碳排放的异质性特征,提出了我国差异化区域碳减排政策。

关键词:碳排放;区域差异;驱动诱因;政策含义
中图分类号:F061.5　**文献标识码:**A　**文章编号:**1001-9952(2012)02-0123-11

自工业革命以来,由人类活动引起的全球气候变暖已成为不争的事实。随着工业化和城市化进程的加快,我国能源消费量和二氧化碳(CO_2)排放量快速上升。根据 IEA(2009)的统计数据,2007 年我国 CO_2 排放量已经超过美国,成为全球第一大碳排放国。2009 年 12 月,我国对世界承诺到 2020 年,单位 GDP 的 CO_2 排放比 2005 年降低 40%—45%,并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。我国各个省份尤其是东、中、西三大区域经济发展不平衡,能源资源禀赋差异大,碳排放的区域特征明显。现阶段研究中国碳排放的区域差异及驱动因素,对于制定差异化的减排策略和低碳经济政策、实现区域低碳经济发展方式转变具有重要的现实意义。

一、文献综述

研究我国碳排放的区域差异及驱动诱因,从区域角度制定相应的碳排放政策符合我国国情。对于碳排放的区域差异,越来越多的学者,如曲建升等(2008)、李国志和李宗植(2010)、王铮和朱永彬(2008)、谭丹和黄贤金(2008)等对此进行了计算、分析和探讨。而对碳排放驱动因素的分析,一般采用的是

收稿日期:2011-11-18
作者简介:仲云云(1979—),女,江苏连云港人,西安交通大学经济与金融学院博士生;
仲伟周(1968—),男,江苏东海人,西安交通大学经济与金融学院教授,博士生导师。

指数分解法：Wang 等(2005)采用对数均值迪氏指数(LMDI)分解法对我国 1957－2000 年的 CO_2 排放进行分解，结果表明能源强度是减少碳排放的主要因素，经济增长则促进碳排放的增加。Wu 等(2005)基于我国各省的数据，运用“三层完全分解法”，研究了我国 1985—1999 年 CO_2 排放量的变化及驱动因素。魏一鸣等(2008)利用 LMDI 方法分析了我国区域 CO_2 排放的 4 个因素。徐国泉等(2006)采用对数平均权重 Divisia 分解法，分析了 1995－2004 年我国人均碳排放的影响因素。王锋等(2010)利用对数平均 Divisia 两层分解法，把 1995－2007 年我国能源消费的 CO_2 排放增长率分解为 11 种驱动因素的加权贡献。

以上研究对揭示我国 CO_2 排放的区域特征、制定区域碳减排政策具有积极意义，但尚存在三方面的局限：(1)计算结果的精确性有待改进。现有文献基本都是根据煤、石油、天然气的消费量计算碳排放量，精确性不够。(2)碳排放影响因素选择有限。现有文献影响因素的选择一般仅考虑生产部门的影响因素，较少考虑生活部门的影响因素。(3)结果分析较少体现省级区域的差异性。现阶段在对碳排放的驱动因素研究中，绝大多数是从国家层面进行研究，而忽视了省级区域的差异性。本文将在现有研究的基础上，主要在三个方面有所探索：(1)利用 IPCC(2006)的方法和各地区 9 类终端能源消费数据，较精确地估算了各地区的碳排放量(与国际权威数据进行比较)；(2)对于驱动因素的选择，注重层次性和全面性，既包括生产部门，也包括生活部门；(3)方法上运用脱钩指标和“LMDI 三层完全分解法”，立足省级区域，分析各地区碳排放的区域差异及驱动因素。

二、我国碳排放的区域差异

(一)估算方法与样本数据。本文碳排放的估算方法基于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》2006 版(IPCC，2006)。能源消费量来自历年各省终端能源消费数据。计算方法如式(1)所示：

$$C_{it}=\sum_j E_{ijt}\times\eta_j(i=29;j=1,2,\cdots,9) \tag{1}$$

其中，C_{it} 为省 i 第 t 年的碳排放总量；E_{ijt} 为省 i 第 t 年第 j 种能源消费量；η_j 为第 j 种能源的碳排放系数。根据《中国能源统计年鉴》口径，本文将最终能源消费划分为原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力等 9 类。由于研究时间范围限于 1995－2009 年，前 8 类能源的碳排放系数变化很小，宏观层面可以忽略不计，而电力的碳排放系数因各地区每年发电燃料构成(煤炭、石油、天然气等)的变化和发电技术的进步而变化较大，可以根据各省每年的发电量(主要是火力发电)和发电燃料的二氧化碳排放计算得到。

本文样本区间为 1995－2009 年，数据来自历年《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。同时参考《中国统计年鉴》的划分，本文把中国划分为东部、中部

和西部地区。[①] 因为西藏的数据缺失太多,而重庆 1997 年才作为直辖市,故把重庆并入四川计算,所以分析对象为全国 29 个省、市、自治区。各地区的 GDP 是把名义 GDP 折算成 1995 年不变价的实际 GDP。由于原始统计时各种能源的消费均为实物统计量,测算碳排放时必须转换为标准统计量。见表 1。

表 1　各类能源的转换系数和碳排放系数

	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
转换系数	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	13.3	1.229
碳排放系数	0.7552	0.8547	0.5854	0.5913	0.5737	0.5913	0.6176	0.4479	另计算

根据式(1)可计算 1995－2009 年各省终端能源消费的碳排放量。需要说明的是,这里所得的计算结果是碳排放量,如果要计算二氧化碳排放量,所得结果乘以“44/12”即可。为了检验结果的科学性,我们将 1995－2009 年全国人均碳排放量的计算结果与美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心(CDIAC)的数据进行比对,发现平均误差只有 2.8%,说明计算结果可接受。

(二)碳排放的区域差异。因篇幅所限,本文仅列出各地区 1995 年和 2009 年的碳排放数据。从碳排放总量、人均碳排放量和碳排放强度三方面进行区域比较,如图 1、图 2 和图 3 所示。

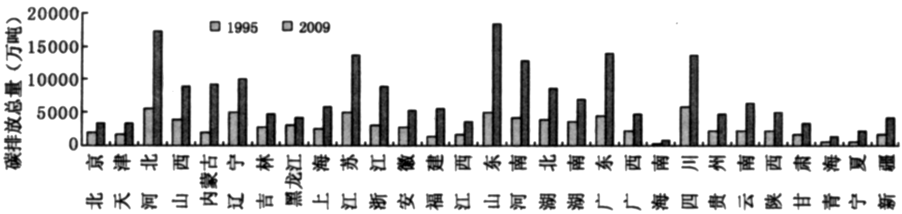

图 1　1995 年和 2009 年中国 29 个省、市、自治区的碳排放总量

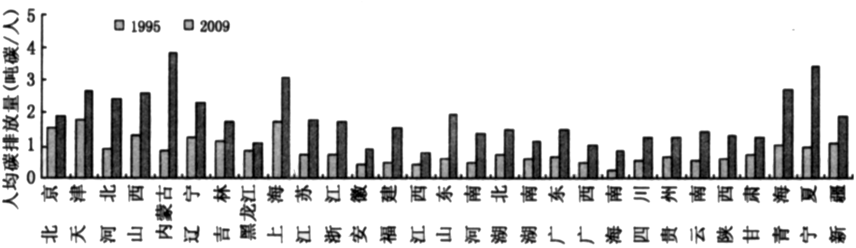

图 2　1995 年和 2009 年中国 29 个省、市、自治区的人均二氧化碳排放量

从图 1 碳排放总量看,1995 年四川、河北、山东、辽宁、江苏、广东、河南、湖北和山西 9 省份的碳排放占全国总排放量的 52.2%,而 2009 年山东、河北、广东、江苏、四川、河南、辽宁和内蒙古 8 省份的碳排放占全国总排放量的 51.6%。1995 年和 2009 年,东部的碳排放量占总排放量的比例是 43.3%和

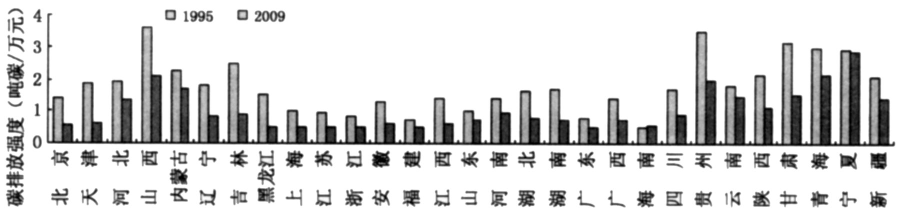

图3　1995年和2009年中国29个省、市、自治区的碳排放强度

47.9%，中部所占比例是31.6%和26.2%，西部所占比例是25.1%和25.9%。东部是碳排放的第一俱乐部，中部和西部分别是第二和第三俱乐部。

从图2人均碳排放量看，29个省份的人均CO_2排放由1995年的0.69吨碳/人上升为2009年的1.6吨碳/人。东、中、西部三大地带的人均碳排放量分别由1995年的0.8吨碳/人、0.64吨碳/人和0.61吨碳/人增加到2009年的1.91吨碳/人、1.31吨碳/人和1.5吨碳/人。29个省份中，内蒙古和宁夏增加最多。

从图3碳排放强度看，29个省、市、自治区的碳排放强度由1995年的1.43吨碳/万元下降为2009年的0.79吨碳/万元。东、中、西部的碳排放强度分别由1995年的1.11吨碳/万元、1.74吨碳/万元和2吨碳/万元下降到2009年的0.65吨碳/万元、0.84吨碳/万元和1.23吨碳/万元。29个省份中，除了海南略有上升外，其他省份都有明显下降，北京、天津、吉林和黑龙江的降幅达60%以上。

（三）区域经济增长与碳排放的相关性检验。发展低碳经济的实质是实现经济增长与碳排放的脱钩发展。通常采用Tapio（2005）脱钩指标和环境库兹涅茨曲线理论来衡量两者的关系，前者反映两者间的短期波动关系，后者反映两者间的长期变化趋势。

1. Tapio脱钩指标的区域比较。Tapio脱钩指标由Tapio（2005）提出。脱钩弹性ε等于二氧化碳排放量增长率与人均GDP增长率的比值，用公式表示为：

$$\varepsilon=(\%\Delta CO2/CO2)/(\%\Delta GDPP/GDPP) \quad (2)$$

Tapio脱钩指标以脱钩弹性的某一范围来界定，共分为8个等级，其中强脱钩代表绝对低碳经济发展阶段，弱脱钩代表相对低碳经济发展阶段（见表2）。

表2　Tapio脱钩指标分界表

状态	弹性ε	ΔCO2	ΔGDPP	状态	弹性ε	ΔCO2	ΔGDPP
强脱钩	<0	<0	>0	衰退连结	0.8<ε<1.2	<0	<0
弱脱钩	0<ε<0.8	>0	>0	增长负脱钩	>1.2	>0	>0
衰退脱钩	>1.2	<0	<0	强负脱钩	<0	>0	<0
增长连结	0.8<ε<1.2	>0	>0	弱负脱钩	0<ε<0.8	<0	<0

利用Tapio脱钩指标来分析中国各地区1995－2009年经济增长与二氧化碳排放的脱钩情况可得表3。

表 3　1995－2009 年各地区 Tapio 脱钩指标($\Delta CO_2>0,\Delta GDPP>0$)

地区	弹性 ε	状态	地区	弹性 ε	状态	地区	弹性 ε	状态
北京	0.341	弱脱钩	安徽	0.318	弱脱钩	贵州	0.454	弱脱钩
天津	0.267	弱脱钩	福建	0.775	弱脱钩	云南	0.936	增长连结
河北	0.682	弱脱钩	江西	0.324	弱脱钩	陕西	0.419	弱脱钩
山西	0.500	弱脱钩	山东	0.690	弱脱钩	甘肃	0.329	弱脱钩
内蒙古	0.764	弱脱钩	河南	0.596	弱脱钩	青海	0.768	弱脱钩
辽宁	0.312	弱脱钩	湖北	0.331	弱脱钩	宁夏	1.274	增长负脱钩
吉林	0.200	弱脱钩	湖南	0.273	弱脱钩	新疆	0.810	增长连结
黑龙江	0.127	弱脱钩	广东	0.920	增长连结	东部	0.581	弱脱钩
上海	0.608	弱脱钩	广西	0.427	弱脱钩	中部	0.346	弱脱钩
江苏	0.463	弱脱钩	海南	1.456	增长负脱钩	西部	0.540	弱脱钩
浙江	0.663	弱脱钩	四川	0.389	弱脱钩	全国	0.482	弱脱钩

由表 4 可知,1995－2009 年全国及三大地带的经济增长与二氧化碳排放呈现弱脱钩状态。在 29 个省份中,广东、云南和宁夏处于增长连结状态,海南、宁夏为增长负脱钩状态,其他地区均为弱脱钩状态。

2. 碳排放环境库兹涅茨曲线的区域比较。国内外很多学者利用环境库兹涅茨曲线研究经济增长与 CO_2 之间的关系,但研究结果大相径庭。Wagner(2008)研究认为人均 CO_2 排放与人均收入不存在 CO_2 的 Kuznets 曲线(简写为 CKC)。Galeotti(2006)研究发现人均 CO_2 排放与人均收入存在 CO_2 的 Kuznets 曲线。林伯强、蒋竺均(2009)利用 CKC 预测了我国 CO_2 排放的拐点。许广月和宋德勇(2010)选用 1990－2007 年我国省际面板数据研究了我国 CKC 的存在性,结果表明全国及东中部地区存在 CKC 而西部地区不存在。

本文利用 29 个省市 1995－2009 年的人均 GDP 和人均碳排放量面板数据,通过构建库兹涅茨曲线模型得出的实证研究结论为:全国、东部和中部地区存在碳排放库兹涅茨曲线,而西部地区不存在碳排放库兹涅茨曲线。全国、东部和中部地区人均碳排放处于拐点时的人均 GDP 分别是 49 800 元、70 400 元和 59 297 元。这与许广月和宋德勇(2010)的结果比较接近。以 GDP 年均增长速度 10%计算,我国将在 2038 年左右达到库兹涅茨曲线的拐点。

三、基于 LMDI 分解模型的区域碳排放驱动因素实证分析

(一)分解模型构建与计算结果。

1. LMDI 三层完全分解模型。为了解释二氧化碳在各区域快速上升并存在巨大差异的原因,有必要对 CO_2 排放的驱动因素进行分解研究。本文借鉴 Wu 等(2005)提出的“三层完全分解法”,从区域层面建立 LMDI 分解模型。这里仅给出全国的分解模型,各省市及三大区域的分解模型以此类推。全国层面的“LMDI 三层完全分解模型”建立如下:

$$C=\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{5}\sum_{k=1}^{9}C_{ijk}=\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\frac{C_{ijk}}{E_{ijk}}\frac{E_{ijk}}{E_{ij}}\frac{E_{ij}}{Y_{ij}}\frac{Y_{ij}}{Y_i}\frac{Y_i}{P_i}P_i$$

$$+\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}\frac{C_{ijk}}{E_{ijk}}\frac{E_{ijk}}{E_{ij}}\frac{E_{ij}}{THI_{ij}}HI_{ij}HN_{ij} \tag{3}$$

式(4)可进一步表示为：

$$C=\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{5}\sum_{k=1}^{9}CI_{ijk}\times ES_{ijk}\times EIP_{ij}\times IS_{ij}\times GDPP_{i}\times P_{i}$$
$$+\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}CI_{ijk}\times ES_{ijk}\times EIR_{ij}\times HI_{ij}\times HN_{ij} \tag{4}$$

其中，j=1,2,…,5 分别表示农业、工业、建筑业、商业和居民生活部门。模型中各变量的含义如表 4 所示。

表 4 模型中各变量的含义

变量	含 义	变量	含 义
C	碳排放总量	ES_{ijk}	$ES_{ijk}=E_{ijk}/E_{ij}$，第 i 省第 j 个部门第 k 种能源的消耗比例，表示能源结构
C_{ijk}	第 i 省第 j 个部门第 k 种能源的碳排放	EIP_{ij}	$EIP_{ijk}=E_{ij}/Y_{ij}$，第 i 省第 j 个部门的能源强度
E_{ijk}	第 i 省第 j 个部门第 k 种能源的消耗量	IS_{ij}	$IS_{ij}=Y_{ij}/Y_{i}$，第 i 省第 j 个部门的经济产出在其总产出中的比例，表示产业结构
E_{ij}	第 i 省第 j 个部门的能源消耗量	$GDPP_{i}$	$GDPP_{i}=Y_{i}/P_{i}$，第 i 省的人均 GDP
Y_{ij}	第 i 省第 j 个部门的经济产出	EIR_{ij}	$EIR_{ij}=E_{ij}/THI_{ij}$，第 i 省居民生活能源强度
Y_{i}	第 i 省经济总产出	HI_{ij}	第 i 省家庭平均年收入
P_{i}	第 i 省人口数	HN_{ij}	第 i 省家庭数量
CI_{ijk}	$CI_{ijk}=C_{ijk}/E_{ijk}$，第 i 省第 j 个部门第 k 种能源的碳排放系数	THI_{ij}	第 i 省家庭总收入

对(4)式，令$\omega_{ijk}=C_{ijk}/C$，可得：

$$\frac{dlnC}{dt}=\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\left[\omega_{ijk}\left(\frac{dlnCI_{ijk}}{dt}+\frac{dlnES_{ijk}}{dt}+\frac{dlnEIP_{ij}}{dt}+\frac{dlnIS_{ij}}{dt}+\frac{dlnGDPP_{i}}{dt}+\frac{dlnP_{i}}{dt}\right)\right]+\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}\left[\omega_{ijk}\left(\frac{dlnCI_{ijk}}{dt}+\frac{dlnES_{ijk}}{dt}+\frac{dlnEIR_{ij}}{dt}+\frac{dlnHI_{ij}}{dt}+\frac{dlnHN_{ij}}{dt}\right)\right] \tag{5}$$

对(5)式进行积分，并根据定积分中值定理可以得到：

$$\frac{C_T}{C_0}=\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{5}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{CI_{ijk,T}}{CI_{ijk,0}}\right]\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{5}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{ES_{ijk,T}}{ES_{ijk,0}}\right]$$
$$\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{EIP_{ij,T}}{EIP_{ij,0}}\right]\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{IS_{ij,T}}{IS_{ij,0}}\right]$$
$$\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{GDPP_{i,T}}{GDPP_{i,0}}\right]\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{P_{i,T}}{P_{i,0}}\right]$$
$$\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{EIR_{ij,T}}{EIR_{ijk,0}}\right]\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{HI_{ij,T}}{HI_{ij,0}}\right]$$
$$\times\exp\left[\sum_{i=1}^{29}\sum_{j=5}\sum_{k=1}^{9}\omega_{ijk(t^*)}\ln\frac{HN_{ij,T}}{HN_{ij,0}}\right] \tag{6}$$

其中,$\omega_{ijk(t^*)}$是权重函数$\omega_{ijk}=C_{ijk}/C$在时刻t^*时的函数值,$t^*\in(0,T)$。Ang和Choi(1997)引入Divisa分解中的对数平均函数,是计算$\omega_{ijk(t^*)}$的一个有效方法。对数平均函数被定义如下:

$$L(x,y)=\begin{cases}(y-x)/\ln(y/x),x\neq y\\ y,y=x\\ 0,y=x=0\end{cases} \tag{7}$$

根据对数平均函数的定义,权重函数值计算如下:

$$\omega_{ijk(t^*)}=L(C_{ijk,T},C_{ijk,0})/L(C_T,C_0) \tag{8}$$

(7)式可以简写为:

$$D_G=[D_{CI}D_{ES}D_{EIP}D_{IS}D_{GDPP}D_P][D_{EIR}D_{HI}D_{HN}]\quad\begin{cases}D>1,\text{正向驱动作用}\\ D=1,\text{作用为零}\\ 0<D<1,\text{负向抑制作用}\end{cases} \tag{9}$$

(9)式表明碳排放的增长可以分解为生产部门6种因素CI、ES、EIP、IS、GDPP和P以及生活部门3种因素EIR、HI和HN的贡献。其中,碳排放量的增长用D_G表示,各因素的贡献用D表示。由(9)式可知,若D>1,则对碳排放量的增长起正向驱动作用,D越大,正向影响越大;若0<D<1,则对碳排放量的增长表现为负向抑制作用,D的绝对值越大,负向作用越大;若D=1,则与碳排放量的增长无关。因此,D越接近于1,则其影响越小。

2.模型计算结果。以1995年为基期,本文考察比较了1995—2009年影响各区域碳排放增长的9种因素的贡献。结果见表5。

表5　1995—2009年各区域碳排放量增长的影响因素及其贡献

地区	D_G	D_{CI}	D_{ES}	D_{EIP}	D_{IS}	D_{GDPP}	D_P	D_{EIR}	D_{HI}	D_{HN}
北京	1.691	0.919	1.085	0.615	0.816	2.300	1.290	0.920	1.149	1.078
天津	1.936	0.924	1.160	0.400	0.984	3.484	1.246	0.958	1.079	1.023
河北	3.087	1.016	1.140	0.636	1.103	3.467	1.082	0.924	1.076	1.019
山西	2.260	0.973	1.105	0.599	1.038	3.051	1.100	0.917	1.076	1.020
内蒙古	4.985	0.987	1.109	0.579	1.321	5.125	1.054	1.005	1.076	1.020
辽宁	1.951	0.970	1.141	0.469	1.024	3.513	1.050	0.918	1.064	1.019
吉林	1.683	0.969	1.055	0.375	1.118	3.698	1.050	0.905	1.097	1.020
黑龙江	1.361	0.935	1.070	0.477	0.939	2.967	1.027	0.889	1.088	1.031
上海	2.401	1.037	1.080	0.637	0.864	2.776	1.298	0.979	1.064	1.038
江苏	2.743	0.915	1.259	0.537	0.993	3.948	1.082	0.965	1.066	1.016
浙江	3.012	0.857	1.306	0.629	0.987	3.423	1.174	0.994	1.063	1.021
安徽	2.032	0.927	1.159	0.508	0.980	3.548	1.017	0.948	1.082	1.026
福建	3.687	0.904	1.063	0.785	1.114	3.619	1.103	0.968	1.087	1.045
江西	2.000	0.892	1.218	0.410	1.258	3.375	1.078	0.891	1.076	1.023
山东	3.578	0.969	1.064	0.669	1.114	4.105	1.080	0.972	1.064	1.016
河南	2.993	0.954	1.122	0.658	1.128	3.561	1.037	0.885	1.123	1.025
湖北	2.179	0.917	1.059	0.550	1.033	3.778	0.992	0.956	1.079	1.021
湖南	1.901	0.905	1.170	0.482	1.087	3.496	1.002	0.893	1.085	1.010
广东	3.170	0.922	1.158	0.635	1.091	2.870	1.343	1.004	1.054	1.052
广西	2.255	0.770	1.176	0.501	1.211	3.441	1.062	1.038	1.058	1.023
海南	3.965	0.886	0.940	1.098	1.220	2.695	1.171	1.072	1.032	1.017

续表 5　1995－2009 年各区域碳排放量增长的影响因素及其贡献

地区	D_G	D_{CI}	D_{ES}	D_{EIP}	D_{IS}	D_{GDPP}	D_P	D_{EIR}	D_{HI}	D_{HN}
四川	2.302	0.899	0.947	0.672	1.155	3.482	0.979	0.910	1.116	1.008
贵州	2.157	0.924	1.136	0.712	1.046	2.720	1.065	0.806	1.138	1.038
云南	2.981	0.889	1.117	1.064	0.911	2.659	1.124	0.914	1.097	1.034
陕西	2.316	0.950	0.989	0.583	1.143	3.291	1.061	0.935	1.100	1.029
甘肃	1.847	0.946	1.180	0.582	0.918	2.913	1.068	0.864	1.114	1.035
青海	3.037	0.756	1.053	0.834	1.266	3.052	1.135	0.938	1.073	1.037
宁夏	4.322	0.996	1.147	0.983	1.022	3.105	1.191	0.942	1.056	1.024
新疆	2.372	0.951	1.126	0.723	1.177	2.231	1.236	0.828	1.084	1.051
东部	2.806	0.949	1.147	0.603	1.035	3.420	1.145	0.961	1.069	1.027
中部	2.109	0.937	1.113	0.527	1.066	3.422	1.036	0.911	1.090	1.022
西部	2.626	0.910	1.066	0.681	1.119	3.241	1.063	0.918	1.097	1.025
全国	2.541	0.936	1.116	0.599	1.065	3.369	1.092	0.935	1.082	1.025

1995－2009 年，各区域的碳排放量均出现较大幅度的增长。各影响因素对全国及三大地带碳排放增长的影响方向完全一致，贡献率略有差别。正向驱动因素有 6 个，分别是能源结构 ES、产业结构 IS、人均国内生产总值 GDPP、人口 P、家庭平均年收入 HI 和家庭数量 HN；负向驱动因素有 3 个，分别是碳强度(碳排放系数 CI)、生产部门能源强度 EIP 和生活部门能源强度 EIR。对碳排放影响最大的是人均 GDP，其次是生产部门的能源强度。总体上正向驱动作用大于负向抑制作用，因此各地区的碳排放均出现不同幅度的增长。

(二)我国区域碳排放的驱动因素分析。9 种碳排放的影响因素大体上可以划分为 4 类效应：强度效应、结构效应、收入效应和规模效应。强度效应包括 D_{CI}、D_{EIP} 和 D_{EIR}，结构效应包括 D_{ES} 和 D_{IS}，收入效应包括 D_{GDPP} 和 D_{HI}，规模效应包括 D_P 和 D_{HN}。以下对各类效应加以分析。

1. 强度效应。(1)碳排放系数对区域碳排放的影响分析。因为本文在计算碳排放量时，假设除电力以外其他能源的碳排放系数保持不变，所以 D_{CI} 仅反映了电力碳排放系数变化的影响。相对于 1995 年，2009 年全国及三大地带的电力碳排放系数均是降低的，有利于减缓碳排放的增长速度。(2)生产部门能源强度对区域碳排放的影响分析。生产部门能源强度是减缓 CO_2 排放的最重要影响因素，对中部影响最大，其次是东部，最后是西部地区。生产部门能源强度的下降主要是由工业部门能源强度下降引起的。工业大省河北、江苏、浙江、山东、河南、四川、广东和四川能源强度的负向贡献率并不是很高，应进一步降低这些省份工业部门的能源强度，同时重点控制海南和云南两省的能源强度。(3)居民生活能源强度对区域碳排放的影响分析。相对于生产部门能源强度，居民生活能源强度对区域碳排放的减缓作用很小。内蒙古、广东、广西和海南的居民生活能源强度有所上升。黑龙江、江西、河南、湖南、贵州、甘肃和新疆的居民生活能源强度下降较多，对碳排放增长的负向贡献率较大。东部地区的抑制作用最小，中、西部地区比较接近。

2. 结构效应。(1)能源结构对区域碳排放的影响分析。全国及三大地带能源结构的变化对 CO_2 排放的增长起正向驱动作用。1995－2009 年各地区终端

能源消费结构的变化主要表现为电力消费比例的提高和煤炭消费比例的下降。全国及东、中、西部地区因电力消费而引起的碳排放占终端能源排放的比例分别由1995年的37%、38%、35%和38%上升到2009年的46%、48%、41%和45%。电力消耗增加对地区碳排放的正向贡献率大于煤炭消耗下降的负向贡献率,因此能源结构的变动对碳排放的影响总体上表现为正向驱动作用。(2)产业结构对区域碳排放的影响分析。1995—2009年全国及东、中、西部产业结构的变化增加了CO_2排放,但贡献率不明显。29个省份中,只有北京、天津、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、云南和甘肃的产业结构变化对CO_2排放产生了减缓作用,其他省份的产业结构变化均增加了CO_2排放。因为工业的耗能最多,所以产业结构变化对CO_2排放的影响方向和大小很大程度上取决于工业比重的变化。

3.规模效应。规模效应包括人口和家庭数量两个因素。这两个因素对CO_2排放的影响比较直观,都促进了CO_2排放的增长。人口对全国及东、中、西部的贡献率依次为1.092、1.145、1.036和1.063,家庭数量对全国及东、中、西部的贡献率分别为1.025、1.027、1.022和1.025。人口规模的扩大将带来CO_2排放的持续增长。现阶段应做好人口规模的控制,减缓由此带来的CO_2排放的增长。

4.收入效应。(1)人均GDP对区域碳排放的影响分析。人均GDP是地区CO_2排放增长的决定因素。全国及三大地带人均GDP对碳排放的贡献率均超过3。29个省份中,这一因素对碳排放的影响均为正且贡献率超过2,尤其对内蒙古影响最大,贡献率达到5.1。其他省份的贡献率在2和5之间,远远高于其他因素对碳排放增长的影响。(2)家庭平均年收入对区域碳排放的影响分析。这一因素对全国各地区CO_2排放的影响均为正,但贡献率较人均GDP小得多。全国及东、中、西部的贡献率比较接近,约为1.1。这是因为随着城市化的不断推进和人民收入水平的提高,一定程度上推动了CO_2排放的增长。

四、结论与政策涵义

1.基本结论。(1)我国29个省、市、自治区的碳排放存在巨大差异。东部地区是碳排放总量和人均碳排放量的第一俱乐部,中部地区是第二俱乐部,西部地区是第三俱乐部。东部地区的碳排放强度最低,中部地区次之,西部地区最高。1995—2009年东、中、西部的经济增长与二氧化碳排放均处于弱脱钩状态;全国、东部和中部地区存在人均碳排放环境库兹涅茨曲线,西部地区不存在。(2)根据“LMDI三层完全分解模型”的计算结果,碳排放的正向驱动因素有人均GDP、能源结构、产业结构、人口数量、家庭平均年收入和家庭数量。负向驱动因素包括碳排放系数、产业部门的能源强度和居民生活部门的能源强度。9类影响因素中,人均GDP是促进碳排放量增长的决定因素,而产业部门的能源强度下降则是抑制碳排放增长的主要因素。

2.构建区域低碳经济发展模式的政策涵义。(1)制定差异化碳减排策略以推进区域低碳经济增长方式转变。东部在经济增长的同时,重点控制碳排放的增速,继续在低碳经济发展的框图中充当“领头羊”的作用;中部地区在实现“中部崛起”过程中,可以承担部分碳减排责任,兼顾经济增长与碳排放增速;西部地区在“西部大开发”的背景下,可以暂时不承担碳减排责任,但应注意保护能源资源环境,适当控制碳排放增速。(2)发展新能源和可再生能源以优化区域能源结构。短期内,各地区可以进一步降低煤炭消费比例,适当增加石油和天然气的消费比重。但在长期,应注重风能、水能、生物能、太阳能、海洋能等可再生能源的开发。降低煤炭在能源消费结构中的份额,逐步提高新能源和可再生能源的消费比例,优化能源结构。(3)减少煤电发电份额以降低区域电力碳排放系数。目前我国各地区仍以火力发电为主,导致排放大量的二氧化碳。各地区应加快淘汰落后的小火电机组,适当提高石油和天然气发电比例,积极发展核能和太阳能发电,以降低区域电力碳排放系数。(4)提高能源利用效率以降低区域能源强度。东部地区能源资源有限,能源利用效率相对较高。中西部地区能源资源丰富,但能源利用效率低下,应建立区域能源资源开发利用机制,对能源开发与供应的规模、开发方式做出合理规划与调控,提高能源利用效率,降低区域能源强度。(5)发展低碳产业以调整区域产业结构。目前,我国正处于重化工业向新型工业化道路的转型时期,重化工业在GDP中的比重依然很高,是碳排放持续上升的重要原因。各地区应积极优化调整产业结构,发展区域低碳产业。扩大第三产业比重。(6)转变观念以推广低碳消费方式。家庭规模和家庭收入增长提高了居民生活水平,也促进了碳排放的增长。社会上低碳消费氛围尚未形成。各地区应加大低碳消费方式的宣传力度,每个家庭、每个公民都行动起来,践行低碳生活,为二氧化碳减排做出贡献。

---

* 本文得到2008年新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0450)和西安交通大学“985工程二期”(07200701)的联合资助。

注释:

①东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南等11个省市,中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南等8省;西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、广西和内蒙古等12个省市。

主要参考文献:

[1]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.

[2]王铮,朱永彬.我国各省区碳排放量状况及减排对策研究[J].战略与决策研究,2008,(2):109-115.

[3]王锋,吴丽华,杨超.中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J].经济研究,2010,(2):123-136.

[4]曲建升,曾静静,张志强.国际主要温室气体排放数据集比较分析研究[J].地球科学进

展，2008，(1)：47－54.

[5]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.

[6]许广月，宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J]. 中国工业经济，2010，(5)：37－47.

[7]Wu L，Kaneko S，Matsuoka S. Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO_2 emission from 1996 to 1999：The relative importance of structural change，intensity change and scale change[J]. Energy Policy，2005，33(3)：319－335.

[8]Tapio P. Towards a theory of decoupling：Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy，2005，12：137－151.

[9]Wagner M. The carbon Kuznets curve：A cloudy picture emitted by bad econometrics? [J]. Resource and Energy Economics，2008，30：388－408.

[10]Galeotti M，Lanza A，Pauli F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO_2 emissions：A Robustness Exercise[J]. Ecological Economics，2006，57：152－163.

Regional Differences and Driving Factors of Carbon Emissions in China：Empirical Analysis Based on the Decoupling and LMDI Models

ZHONG Yun-yun，ZHONG Wei-zhou

(*School of Economics and Finance*，*Xi'an Jiaotong University*，*Xi'an* 710061，*China*)

Abstract：By calculating the carbon emissions in 29 provinces from 1995 to 2009，this paper reveals the regional differences of carbon emissions in China. Then it constructs a LMDI model to study nine driving factors of the increase in carbon emissions in eastern，central and western regions；it shows that GDP per capita is the determinant of the increase in carbon emissions and the reduction in the energy intensity of industrial sectors has the most significantly negative effect on the increase in carbon emissions. Finally，on the basis of the analysis of the effects of these nine driving factors on the increase in regional carbon emissions and the heterogeneity of regional carbon emissions，it proposes some differential policies concerning the decrease in regional carbon emissions.

Key words：carbon emission；regional difference；driving factor；policy implication

（责任编辑　许　柏）