

中国省域能源消费碳排放及其 驱动因素分解分析

刘贤赵,高长春,张勇,余光辉,宋焱,田艳林

(湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:在利用 IPCC 提供的参考方法对中国大陆 30 个省区(不包括西藏)1997~2012 年能源消费碳排放量估算、分析的基础上,采用 LMDI 分解模型将碳排放的影响因子分解为人口规模效应、经济发展效应、能源强度效应、能源结构效应以及城乡人口结构效应和人均能源消费效应,并对江苏、河南、内蒙古和重庆 4 省区的碳排放驱动因素进行了实证分解。结果表明:中国各省域碳排放量和人均碳排放量均呈上升趋势,但增加幅度各省区明显不同;CO₂ 排放强度存在明显的省区差异,表现为东部省份<中部省份<西部省份,除青海、宁夏和海南 3 省碳排放强度仍在增加外,其他各省区均呈下降趋势;经济发展、人口规模、城市化水平对碳排放表现为正向效应,能源强度、能源结构则表现为负向效应,其中经济发展对 4 省区能源消费碳排放正向效应最大,而能源强度对 4 省区碳排放负向效应最大;乡村人口比例、城乡人均能源消费量对 4 省区碳排放量的影响有限且存在较弱的正负波动。

关键词:碳排放;LMDI 方法;能源消费;因素分解;中国省域

中图分类号:F205 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2017)02-0092-09

Carbon Emissions of Energy Consumption and Its Driving Factors Decomposition in China's Provinces

Liu Xianzhao, Gao Changchun, Zhang Yong, Yu Guanghui, Song Yan, Tian Yanlin

(School of Resource Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The CO₂ emissions of energy consumption were calculated and analyzed according to the reference approach provided by IPCC in China's thirty provinces (excluding Tibet) from 1997 to 2012. Based on this, using the method of LMDI decomposition, the effects of CO₂ emission in China's provinces were decomposed into six influencing effects, namely population size effect, economic development effects, energy intensity effect, energy structure effect, urban - rural population structure effect and per capita energy consumption effect. Also the driving forces of carbon emissions from energy consumption in the four provinces of Jiangsu, Henan, Inner Mongolia and Chongqing were empirically decomposed. The results showed that: Both the amount of carbon emissions and per capita carbon emissions in China's provinces exhibit an upward trend over the period from 1997 to 2012, but the increase ranges in China's provinces are significantly different; The obvious differences in CO₂ emissions intensities are found in China's provinces. The provinces in descending order of carbon emission intensity are the western provinces, the central provinces and the eastern provinces. The intensities of carbon emissions in other provinces of China showed a declining trend except in three provinces of Qinghai, Ningxia and Hainan; Economic development, population size and urbanization level had the positive effect on carbon emissions, and energy intensity and energy structure are negative effect. Among them, economic

收稿日期:2015-06-01

基金项目:教育部人文社会科学资助项目(14YJAZH050);湖南省社科基金资助项目(14YBA170)

通信作者:刘贤赵(1970-),男,湖南邵阳人,博士,教授,主要从事碳排放与生态环境演变研究. E-mail: xianzhaoliu@sina.com

development had the strongest positive impact on carbon emissions; energy intensity effect had the strongest negative effect on carbon emissions. The proportion of rural population, the energy consumption per capita of urban and rural areas had limited impacts on the increase of CO₂ emission and exhibited weak positive and negative fluctuation effects on carbon emissions.

Keywords: carbon emissions; LMDI method; energy consumption; factors decomposition; China's provinces

随着社会经济的迅猛发展,能源消费所排放的 CO₂ 成为气候变化的主要因素之一.减少碳排放、发展低碳经济正日益受到国际社会的广泛关注.据国际能源署(International Energy Agency, IEA)统计,中国在 2008 年的 CO₂ 排放量已占到全球的 23.6%,已成为世界上最大的碳排放国^[1].作为负责任的中国,已主动提出到 2020 年单位 GDP 碳排放比 2005 年下降 40%~45%,这不仅需要从全局角度考虑 CO₂ 排放的影响,更应该从省域视角把握碳排放的特征.然而,与此相关的是中国各省区经济发展水平、产业结构、资源禀赋存在较大差异,致使碳排放也明显不同;另一方面,随着社会经济的发展,碳减排难度不断增大,减排成本也越来越高.因此,在保持经济健康平稳增长的前提下,如何控制中国各省区碳排放总量,并在各省区科学分配碳减排任务和最终实现国家整体减排目标,是政府制定减排措施时必须考虑的问题.基于此,准确测算中国各省区之间的碳排放量、碳排放强度,分析各省区之间碳排放的空间差异及其驱动因素,不仅对厘清节能减排与经济增长之间的关系具有现实意义,而且还有助于制定公平、科学、合理的省域差异化碳减排政策.

目前,众多学者对我国碳排放测算、碳排放特征及其驱动因素等进行了大量的研究.在碳排放估算与预测方面,杜官印等^[2]根据一次能源消耗量估算了我国 1997~2007 年的碳排放量;谭丹等^[3]则用一次能源消耗量计算了我国东、中、西 3 大区域的碳排放量;同样,邓吉祥等^[4]用一次能源消耗量对我国 1995~2010 年 8 大区域的碳排放量进行了估算.岳超等^[5]基于分摊法估算了 1995~2007 年我国能源消费产生的 CO₂ 年均排放量、人均碳排放量以及碳排放强度,并对东、中、西 3 大区域进行了对比分析;腾欣等^[6]基于“十一五”能源结构数据和“十二五”发展规划对我国 2020 年碳排放量与 GDP 的关系进行了预测,认为未来 10 年碳排放增长速度依旧很快.

在碳排放影响因素方面,Zhang 等^[7]利用因素分析法对中国 1991~2006 年与能源相关的 CO₂ 排放进行了分解研究,表明经济活动是最主要的驱动因素,而能源强度起抑制作用.Ang^[8]利用分析架构模型对中国 1953~2006 年碳排放进行了研究,结果表明技术转让与对国外先进技术的吸收能力对碳排放具有抑制作用,而能源消耗增加、收入提高以及贸易开放广度对碳排放具有促进作用.孙建卫等^[1]利用 Laspeyres 指数分解模型从时间序列对碳排放量和碳排放强度进行了分解分析,得出 GDP 增长是碳排放量增加的主要动力,而技术进步则是碳排放量降低、碳排放强度变化的主要因素.Shrestha 等^[9]对亚太地区 15 个国家电力行业 CO₂ 排放的驱动因素进行了研究,发现有 10 个国家经济增长是碳排放的主要驱动因素,有 3 个国家电力强度是碳排放的主要影响因素,而在剩余 2 个国家中能源结构起主要作用.张雷等^[10]通过产业—能源关联和能源—碳排放关联模型,解析了中国碳排放区域格局变化的原因.宋德勇等^[11]用“两阶段”LMDI 模型从全国层面对一次能源消费产生的 CO₂ 排放相关因素进行了分解,并分析了不同阶段各影响因素对碳排放的作用程度.主春杰等^[12]将碳排放的驱动归结为化石燃料系数、能源消费结构、能源强度、人均 GDP 和人口总数等 5 个因素,认为能源强度是主要驱动力,冯相昭等^[13]运用改进的 Kaya 恒等式对碳排放驱动因素进行无残差分解,结果表明人口是主要驱动因素;而郝珍珍等^[14]将 Kaya 恒等式进行扩展,得出经济效应是主要正向驱动因素,能源强度是主要负向驱动因素.

尽管上述学者在碳排放估算、预测及其驱动因素等方面取得了丰硕成果,但多数研究在估算 CO₂ 排放量时采用的能源数据是一次能源消费量,而直接使用一次能源可能会产生较大的误差,而且关注的主体主要是国家层面未来碳排放量和碳排放强度的变化^[15].在进行碳排放驱动因素分析时,也主要是基于国家层面、中东西部视角和 8 大经济区以及单个的省份^[16],对中国省域碳排放驱动因素的对比分析较少,并且主要集中在研究能源结构、产业结构、能源强度和人口规模等对碳排放的影响上,考虑人口结构以及人均

能源消耗量等因素对碳排放的影响极少.本文采用终端能源消费量以及为生产热力、电力消耗的能源数据对中国省域碳排放量进行估算,分析省域碳排放的驱动因素,为国家和省区制定节能减排政策提供决策依据.

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源与处理

基于数据的可获得性,选取中国大陆除西藏以外(缺乏能源数据)的30个省、自治区和直辖市(简称省域或省区)作为研究样本,重点分析1997~2012年我国各省域之间的碳排放量及其驱动因素.所用8种主要化石能源(原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气)的终端消费数据来自于1998~2013年的《中国能源统计年鉴》,其他相关数据(如GDP,人口等)来源于《中国统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》以及历年各省统计年鉴.为消除价格波动造成的影响,文中使用的经济数据都按2000年不变价进行折算处理.各类化石能源的标准煤折算系数和碳排放系数列于表1.

表1 主要能源的碳排放系数和标准煤折算系数*

能源种类	标准煤折算系数 /(kg 标准煤/kg)	碳排放系数 /(kg/kg 标准煤)	能源种类	标准煤折算系数 /(kg 标准煤/kg)	碳排放系数 /(kg/kg 标准煤)
原煤	0.714 3	2.771 6	煤油	1.471 4	2.095 1
焦炭	0.971 4	3.135 0	柴油	1.457 1	2.171 0
原油	1.428 6	2.147 6	燃料油	1.428 6	2.267 8
汽油	1.471 4	2.030 6	天然气	1.330 0	1.643 8

* 标准煤折算系数来源于2013年《中国能源统计年鉴附录4》,CO₂排放系数来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》推荐的缺省值;天然气标准煤折算系数的单位为kg 标准煤/m³).

1.2 省域能源 CO₂排放量估算

根据国际上认可的IPCC提供的参考方法(Reference approach)以及参照相关碳排放的文献^[16],构建计算我国省域能源消费CO₂排放量的模型为

$$E_{\text{CO}_2} = \sum_{i=1}^n E_i \times e_i \times f_i \times \frac{44}{12}. \quad (1)$$

式中: E_{CO_2} 为能源消费的CO₂排放总量; E_i 为*i*种能源消费量; e_i 为*i*种能源标准煤折算系数; f_i 为*i*种能源碳排放系数,44/12指C转化为CO₂的系数, n 为能源种类.

1.3 碳排放驱动因素分解

为定量分析碳排放的驱动因素以及各因素对碳排放的作用程度,本文基于Kaya恒等式采用对数平均迪氏指数分解法(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)对影响CO₂排放量的因素进行无残差分解,其表达式为^[8]

$$C = \sum_{i=1}^2 \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{P_i} \times \frac{P_i}{P} \times P + \sum_{i=3}^3 \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{\text{GDP}} \times \frac{\text{GDP}}{P} \times P. \quad (2)$$

式中: C 为CO₂排放总量; C_i 分别代表城镇($i=1$)、乡村($i=2$)和生产部门($i=3$)的CO₂排放量; E_i 分别代表城镇、乡村和生产部门的能源消费量;GDP为国内生产总值; P 为总人口数量; P_1, P_2 分别为城镇、乡村人口.

假设从基年(用0表示)到*t*年能源消费所产生的CO₂排放量的变化值为 ΔC ,则 ΔC 可分解为总人口变化产生的人口规模效应 ΔC_P ,人均GDP变化产生的经济发展效应 ΔC_{GP} ,单位GDP能源消费改变引起的能源强度效应 ΔC_{EG} ,能源消费结构调整产生的结构效应 ΔC_{CG} ,城市化水平变化引起的城市化效应 ΔC_{PC} ,乡村人口比重变化产生的乡村人口规模效应 ΔC_{PN} ,城镇人均能源消费量改变引起的消费效应 ΔC_{EP1} 和乡村人均能源消费量变化产生的消费效应 ΔC_{EP2} ,用式表示为^[14]

$$\Delta C = \Delta C_{CG} + \Delta C_{EG} + \Delta C_{GP} + \Delta C_P + \Delta C_{PC} + \Delta C_{PN} + \Delta C_{EP1} + \Delta C_{EP2} \quad (3)$$

式中: $\Delta C_{CG} = \sum_i W_i * \ln\left(\frac{CG_i^t}{CG_i^0}\right)$; $\Delta C_{EG} = W_3 * \ln\left(\frac{EG^t}{EG^0}\right)$; $\Delta C_{GP} = W_3 * \ln\left(\frac{GP^t}{GP^0}\right)$; $\Delta C_P = \sum_i W_i * \ln\left(\frac{P^t}{P^0}\right)$; $\Delta C_{PC} = W_1 * \ln\left(\frac{PC^t}{PC^0}\right)$; $\Delta C_{PN} = W_1 * \ln\left(\frac{PN^t}{PN^0}\right)$; $\Delta C_{EP1} = W_1 * \ln\left(\frac{EP1^t}{EP1^0}\right)$; $\Delta C_{EP2} = W_2 * \ln\left(\frac{EP2^t}{EP2^0}\right)$; $W_i = \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0}$;
GP 为 人均 GDP; EG 为 能源消费强度; CG 为 能源结构强度; PC 为 城市化水平; PN 为 乡村人口比重; EP 为 人均能源消费量; W 为 权重系数; 数字 1, 2, 3 分别代表 城镇、乡村和生产部门。

2 中国省域碳排放分析

2.1 省域碳排放总量变化

1997~2012年,中国30个省区CO₂排放总量持续增长,由1997年的29.76亿t增长到2012年的91.13亿t,年均增速达12.89%。总体上看,各省区CO₂排放量均呈增长趋势,但不同省区的碳排放量和增速有明显差异(图1)。1997年,CO₂排放量大于2亿t的省区只有河北,而到2012年碳排放量超过2亿t的省区达到20个,属于重型排放的省区(大于4亿t小于8亿t)就有8个(依次是山东、河北、内蒙、江苏、河南、广东、山西和辽宁),CO₂排放量占全国总排放量的50%,且全部分布在东、中部地区,原因是东、中部省份经济发展起步早,经济总量大,加上第二产业是经济发展的主导产业,因此总体耗能高,CO₂排放量大。从增长幅度看,1997~2012年CO₂排放量年均增长较快的前5个省区分别是宁夏(37.75%)、内蒙(35.70%)、海南(31.07%)、福建(25.90%)和山东(20.30%),增幅最小的是北京(2.72%)和上海(5.54%)。这是因为这些省区正经历经济快速增长或产业结构转移,经济结构以重化工为主,能耗高排放量大;而北京地区产业结构调整已基本完成,经济发展对耗能性产品的需求已基本饱和,且减排意识逐渐起到抑制碳排放的作用。

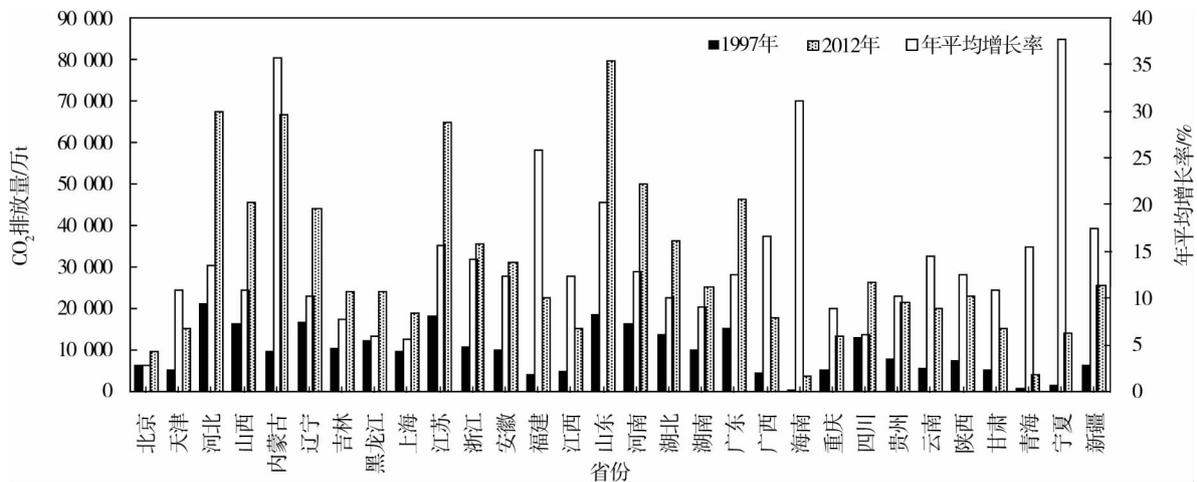


图1 1997年和2012年中国各省域CO₂排放量与年平均增长情况

2.2 省域人均碳排放量变化

由于各省区人口、面积和经济发展程度不同,碳排放总量并不能完全反映出不同省区之间碳排放水平的差异。为能更好地体现能源使用和碳排放的公平性,作者选取人均CO₂排放量作为省域间比较的指标。由表2可以看出,在1997年和2012年,中国各省域人均CO₂排放量总体呈上升趋势,全国平均值由1997年的2.83t增加到了2012年的7.91t,16年间人均CO₂排放量增加了近2倍,这与我国各省域同期经济发展状况相一致。在1997年前后,我国各省区工业化程度比较低,经济发展主要以轻工业和劳动密集型产业为主,能耗水平和CO₂排放增长缓慢;而在2000年之后至2012年之间,各省工业化、城镇化加快,能源消耗与碳排放同步增加。就具体的省区而言,1997年人均碳排放量最高的3个省区依次是上海、天津和北京,而在2012年人均CO₂排放量最多的是内蒙、宁夏和山西。其中,内蒙从1997年的4.28t增加到了2012年的

26.82 t,但北京在此期间出现了负增长,这与各省区经济发展水平、经济增长模式和人口变动有关.例如,位于长三角经济区的上海,1997年前后经济发展模式和支柱产业以制造业为主,能源消耗量高,相应的人均碳排放量也高;北京、天津地处环渤海经济圈,能源资源丰富,在1997年前后主要立足于重工业发展.至于2012年内蒙古人均碳排放量高出全国平均水平的2.4倍可能与其经济发展仍然没有摆脱高投入、高耗能的经济增长模式有关.由于各省区人均CO₂排放量差异较大,因此针对不同省区制定差异化的碳减排政策很有必要.

表2 1997年和2012年中国各省域人均碳排放量和碳排放强度

省区	人均碳排放量/(t/人)			碳排放强度/(t/10 ⁴ 元)			省区	人均碳排放量/(t/人)			碳排放强度/(t/10 ⁴ 元)		
	1997	2012	变幅	1997	2012	变幅		1997	2012	变幅	1997	2012	变幅
北京	5.50	4.73	-0.77	2.93	0.87	-2.06	安徽	1.71	5.20	3.49	4.21	2.75	-1.46
天津	5.88	10.81	4.93	4.38	1.66	-2.72	江西	1.43	3.37	1.94	3.17	1.86	-1.31
河北	3.28	9.26	5.98	5.62	3.71	-1.91	湖北	2.40	6.33	3.93	5.05	2.61	-2.44
辽宁	4.09	10.12	6.03	4.62	2.36	-2.26	湖南	1.60	3.80	2.20	3.73	1.80	-1.93
上海	6.95	8.02	1.07	2.87	1.15	-1.72	河南	1.79	5.35	3.56	4.21	2.57	-1.64
江苏	2.59	8.19	5.60	2.92	1.79	-1.13	中部	2.88	8.74	5.86	5.86	3.31	-2.55
浙江	2.47	6.51	4.04	2.40	1.53	-0.87	重庆	1.84	4.61	2.77	3.98	1.33	-2.65
福建	1.34	6.05	4.71	1.56	1.51	-0.05	四川	1.59	3.29	1.70	4.33	1.66	-2.67
山东	2.14	8.24	6.10	3.03	2.30	-0.73	贵州	2.27	6.20	3.93	10.19	5.40	-4.79
广东	2.19	4.37	2.18	1.95	1.08	-0.87	云南	1.49	4.36	2.87	3.79	2.94	-0.85
广西	1.06	3.86	2.80	3.04	2.17	-0.87	陕西	2.17	6.19	4.02	5.83	2.86	-2.97
海南	0.89	4.46	3.57	1.61	1.85	0.24	甘肃	2.24	5.90	3.66	6.96	4.03	-2.93
东部	3.20	7.05	3.85	3.08	1.83	-1.25	青海	2.50	7.55	5.05	2.65	6.12	3.47
山西	5.32	12.65	7.33	11.68	6.26	-5.42	宁夏	3.79	21.86	18.07	8.90	12.52	3.62
内蒙古	4.28	26.82	22.54	8.62	6.87	-1.75	新疆	3.93	11.49	7.56	6.22	5.61	-0.61
吉林	4.08	8.74	4.66	7.09	2.91	-4.18	西部	2.42	7.94	5.52	5.87	4.72	-1.15
黑龙江	3.35	6.36	3.01	5.02	2.15	-2.87	全国	2.83	7.91	5.08	4.94	3.29	-1.65

2.3 省域碳排放强度变化

碳排放强度是指生产单位GDP所排放的CO₂量,是衡量经济发展与碳排放关系的重要指标.碳排放强度越大,则表示生产单位GDP所释放的CO₂越多.从表2不难看出,中国各省区之间的CO₂排放强度呈现明显差异,按2000年不变价进行折算,1997年各省份的CO₂排放强度均较高,其中山西省的排放强度达11.68 t/10⁴元,是最低的福建省的7.5倍;2012年CO₂排放强度最高的是宁夏(12.52 t/10⁴元),最低的是北京(0.87 t/10⁴元),前者为后者的14倍,碳排放强度整体上表现为东部省份<中部省份<西部省份(表2).碳排放强度的这种空间差异与各省区经济发展水平、技术条件、能源结构等有关,碳排放强度较低的省份一般经济发展水平较高,第三产业所占比重较大,是典型的能源输入省份;而碳排放强度高的省份多位于中西部地区,一方面其化石能源资源丰富,是能源输出大省,另一方面,这些省区经济发展过多依赖于资源和重工业,能源效率低,碳排放量大.

从碳排放强度变化趋势看,1997~2012年,除青海、宁夏和海南3省的CO₂排放强度仍在增加外,其它各省均为下降趋势,只是降低幅度不同(表2).其中,北京CO₂排放强度下降幅度最大,达70%以上.一方面说明北京市的经济增长比较迅速,即国内生产总值增长较快;另一方面,也说明北京在能源结构优化、减排技术等方面也有较大进步,即单位能源消耗排放的CO₂在不断降低,同时也与北京在2008年举办了具有重大影响力的世界奥运盛会有关,这对推动环境质量的改善是不言而喻的.尽管多数省区CO₂排放强度在减小,但各省区之间的差距依然较大,这意味着中国未来经济发展带来的减排压力依然巨大.

3 省域碳排放驱动因素分解

为了便于探讨各种驱动因素对碳排放的贡献,本文将1997~2012年划分成4个时段,即1997~2000,

2001~2004,2005~2008 和 2009~2012 年,选取代表东、中、西部地区的江苏、河南、内蒙古和重庆 4 省区用 LMDI 方法对碳排放影响因素进行分解,得到各因素对碳排放的相对贡献值.从表 3 可以看出,在 4 省区能源消费碳排放分解的各影响因素中,经济发展、人口规模、城市化效应对碳排放的增加主要表现为正向效应,而能源强度、能源结构与乡村人口比重主要表现为负效应,城镇、乡村人均能源消费量表现为先负后正的波动效应.各驱动因素在不同时段对碳排放产生的影响及其影响程度分述如下.

表 3 1997~2012 年河南、江苏、内蒙古和重庆 4 省区能源消费碳排放各分解因素贡献

年份	省份	ΔC_{CG}	ΔC_{EG}	ΔC_{GP}	ΔC_{EP1}	ΔC_{EP2}	ΔC_{PC}	ΔC_{PN}	ΔC_P
1997~ 2000 年	河南	0.84	-175.94	264.96	-25.26	-2.74	9.45	-4.35	33.04
	江苏	-6.95	-249.14	338.66	-14.04	-2.37	4.82	-1.99	31.01
	内蒙	-2.41	-172.8	253.22	-6.19	-4.10	1.36	-0.92	19.45
	重庆	-11.02	-49.49	169.32	-1.79	-0.59	2.66	-2.76	-6.33
2001~ 2004 年	河南	0.89	-0.52	97.29	-3.81	-2.13	1.87	-1.23	7.64
	江苏	-1.71	-67.22	161.30	-1.53	-0.02	0.38	-0.30	9.09
	内蒙	-0.14	-1.65	99.45	0.54	0.25	0.19	-0.14	1.49
	重庆	-1.72	-282.73	189.12	-2.43	9.06	2.65	-3.75	-10.55
2005~ 2008 年	河南	-1.43	-162.86	258.74	-6.54	-0.02	2.21	-2.02	11.92
	江苏	-6.01	-199.65	285.33	3.04	0.44	0.68	-0.08	16.25
	内蒙	-0.98	-23.00	116.41	2.10	1.11	0.28	-0.35	4.42
	重庆	1.99	-10.84	101.09	0.96	2.34	0.54	-0.84	4.76
2009~ 2012 年	河南	-11.02	-234.34	273.25	6.14	6.79	2.17	-2.45	59.45
	江苏	-1.45	-11.13	104.42	1.91	1.09	0.65	-0.13	4.84
	内蒙	1.78	-0.39	92.88	4.46	1.61	0.42	-0.34	3.33
	重庆	-22.63	-504.67	545.60	29.14	11.31	4.23	-5.27	42.30

注:表中数据采用各分解量/总变化量 $\times 100\%$ 表示.

3.1 人口规模对碳排放的影响

1997~2012 年,4 省区人口规模对碳排放增长的影响整体上表现为正向效应(表 3),贡献率相对经济发展效应明显较低,这与前人的研究结论一致^[6].但该因素所起的作用在 4 省区中明显不同,其中,重庆市人口规模对碳排放的贡献表现为由负变正,即在 1997~2004 年由人口增长放缓导致人口总量变化引起的碳排放量减少,对碳排放起抑制作用;而从 2005 年开始人口的快速增长使人口规模扩大,与此相关的碳排放量也增加,即对碳排放起促进作用.内蒙古人口规模对碳排放一直是正向效应,尽管碳排放量增加值在上升,但贡献率却在降低,即从第 1 阶段的 19.45%下降到第 4 阶段的 3.33%(表 3),表明人口规模对碳排放的影响正在减弱.河南、江苏两省的人口规模对碳排放始终是起促进作用,且在 1997~2008 年 2 者的贡献率相似,但在 2009~2012 年 2 者明显不同,即河南省的人口规模效应显著增加,而江苏省明显降低,这可能与同期人口数量大幅波动有关.据统计,河南省 2012 年总人口数比 2009 年增加了近 6.0%,人口规模远大于前 3 个时段,人口绝对数量的高增长必然会伴随人口城市化率的提高、居民消费规模的增长以及消费模式的改变,从而促进碳排放的增长;而江苏省在此时段(2009~2012 年)的人口规模增长率迅速降低.

3.2 经济发展对碳排放的影响

表 3 显示,经济发展对能源消费碳排放具有最大的正向驱动效应.在 1997~2012 年间,河南、江苏、内蒙古和重庆 4 省区经济发展对碳排放的年平均贡献率分别为 223.6%,222.4%,140.5%和 251.3%,表明经济的快速增长是上述 4 省区 CO₂排放增加的最主要因素,这也暗示现阶段的经济发展与碳排放之间的库兹涅茨曲线顶峰还未到来.原因是我国正处在工业化中期,需要大力发展经济来满足国民的物质生活需求,但由于第二产业所占比重较大,经济增长主要依靠消耗大量的化石能源,从而导致经济发展对 CO₂排放的效应在 4 个时段都比较大.进一步的分析还发现,在 4 个阶段中,2009~2012 年 4 省区之间的经济发展效应差异最大,其中重庆人均 GDP 对碳排放的正向效应达 545.6%,是内蒙古的 6 倍.这是因为该阶段是

重庆经济发展最快的时期,但其经济发展仍主要依赖于高耗能性产业,而同期内蒙古经济增长相对缓慢,人均 GDP 对 CO₂ 排放增长的推动作用较弱,从而导致该时段经济发展对碳排放的驱动效应差异最大。

3.3 能源强度对碳排放的影响

能源强度是反映能源消费水平和能源利用效率的重要指标。由表 3 可知,4 省区能源消耗强度对 CO₂ 排放总体上表现出强烈的负向效应,表明能源强度是抑制碳排放增长的重要驱动因子。在 1997~2000 年,由于受亚洲金融危机和宏观调控的影响,连续 3 年出现通货紧缩,国内投资增速明显放缓,导致河南、江苏和内蒙古 3 省的能源强度下降幅度较大,这在一定程度上减缓了 3 省由经济发展效应引起的碳排放量的增加,而重庆则因为建立直辖市的时间较短,受政策的影响投资增速降低较小,从而导致能源消耗强度对碳排放的负效应明显低于其他 3 省区。在 2001~2004 年,能源消费强度对碳排放所表现的负效应除重庆市大幅增加外(贡献率为-282.7%),其他 3 省区均明显减弱。原因是该时段河南、江苏和内蒙 3 省的产业结构中第二产业比重增加较大,高耗能产品生产增多,再加上国内外投资环境改善,投资增长速度加快,由此引发单位能源消费强度上升,导致能源强度对碳排放表现出较弱的负效应;而重庆是直辖市,其能源使用技术和碳排放技术推广阻力小,技术进步对碳排放的抑制作用加强,从而使重庆能源强度表现出强烈的负效应。2005~2008 年,由于受持续高投资的驱动以及内蒙古、重庆两省区产业结构相对传统,资源依赖性企业所占比重较高,能源强度对碳排放的抑制作用减弱;而河南、江苏属于中部和东部沿海省份,经济相对发达,自身产业结构调整或技术进步对碳排放的弹性大,且淘汰了大批落后产能企业,能效水平整体提升,导致能源强度对碳排放量的负效应也较大。2009~2012 年,由于河南、重庆两省区大量承接了东部发达地区的产业,且合并和关停了当地一些高耗能企业,能源消费强度大幅下降,碳排放量也相应大幅减小;而在此期间江苏、内蒙的能源强度负效应较弱,主要是因为江苏属于东部沿海省份,产业结构调整已初步完成,在当前技术水平下,碳减排潜力已基本耗尽;而内蒙古属资源型省份,资源依赖型企业所占比重较高,经济发展对耗能性产业依赖较大,从而导致能源强度对碳排放的负效应最低(表 3)。

3.4 能源结构对碳排放的影响

能源结构变化对碳排放的影响整体上表现为较弱的负效应(表 3),对 4 省区 CO₂ 排放量的贡献率较小。原因是在 1997~2012 年,由于受能源政策和宏观经济形势的影响,尽管原煤消费量持续下降,天然气与其它低碳低热值能源比重有所上升,但能源消费结构总体上没有明显变化^[6],因而对碳排放的抑制作用较小。就单个省区而言,江苏省的能源消费结构对碳排放的影响始终为负效应,这是因为江苏是一个能源消耗大省,能源一直以输入为,但近年来该省加大了对天然气、核能等低碳能源的多元化配置,能源结构有所改善,从而有效抑制了碳排放的增长;内蒙古的能源结构效应由前 3 个时段的负值转变为第 4 阶段的正值,这主要是该省化石能源较丰富,能源消费结构中原煤比例仍在增加(如火力发电需要消耗大量的煤炭),说明该省能源消费结构正朝着不利于碳减排的方向发展;河南省能源结构效应由正变为负,表明该省有一个持续的能源结构改善过程,能源结构逐渐趋向合理;重庆市能源结构对碳排放的影响除在 2005~2008 年有较弱的正效应外,其他 3 个时段均表现为负效应,且有加强的趋势,表明重庆市低碳能源利用量增多,天然气、核能所占能源结构比重增大。

3.5 城乡人口结构对碳排放的影响

城乡人口结构是指城镇人口和乡村人口在总人口中占的比重以及由此产生的经济生产方式不同形成的二元社会结构。由于城镇人口和乡村人口在生产方式、消费行为、劳动条件、居住环境和生活方式等方面都存在差别,从而对碳排放产生影响。从 LMDI 分解的结果看,在 1997~2012 年间,城市化水平对 4 省区的碳排放都表现出不同程度的正向效应,但影响并不明显,除重庆市以外,其他 3 省区的正向效应均有减少的趋势(表 3),这与曲如晓等的研究结论一致。这是因为在前期初放式的城市化进程中需要大规模的基础设施建设,从而导致排放较多的 CO₂,但随着新型城市化道路的认可,基础设施日趋健全,减排技术水平提高以及政府和民众对环境的关注程度加强,城市化对 CO₂ 排放的影响将逐渐弱化。表 3 还显示,4 省区乡村人口比例对碳排放均具有一定的抑制作用,除江苏省外,其他 3 省区的负效应在逐渐加强。这可能是随着

城市化程度的不断加深,乡村人口数量减少;另一方面,随着农业现代化进程的加快,现代农业生产方式将逐渐取代传统高碳排放的粗放型农业,加上各省耕地面积逐年萎缩,从而导致乡村农业碳排放减少.综合比较而言,城市化和乡村人口比重这两个因子对 CO₂ 排放影响不大.

3.6 人均能源消费水平对碳排放的影响

关于人均能源消费水平对碳排放的影响,不同的学者得出了不同的结论.朱勤等认为,人均能源消费水平、城市化率和人口数量对碳排放的影响逐渐减小,而王卉彤通过对中国 30 个省区碳排放影响因子的关联度分析,得出人均能源消费量是影响碳排放的最主要因素.本研究中,人均能源消费效应对 4 省区 CO₂ 排放的影响表现为先负后正,即在 1997~2012 年前两个时段主要为负效应,而后 2 个时段则主要为正效应,并且城镇人均能源消费效应大于乡村(表 3),产生上述变化的原因可能与城乡人均能源消费量的变动有关.张馨等认为,影响城乡人均能源消费量变化的主要因素有城市化水平、能源效率和人均收入.能源效率的提高一般会使城乡人均能源消费量下降,而城市化率和人均可支配收入的提高会导致人均能源消费量的增加.据测算,在城市化过程中,一个农村居民转变为城市居民将会增加能源消费量 1 085.3 kg 标准煤,从而造成碳排放量的增加.这 2 方面的共同作用最终引起人均能源消费量的变动.图 2 显示,从 1997~2012 年,4 省区城市化率均呈上升趋势,但在 1997~2000 年和 2001~2004 年 2 个时段,4 省区城市化率相对较低,相应的城市人均能源消费效应对碳排放的影响为负,其中河南省表现最为明显,这与其城市化率最低一致;随着城市化率的上升,越来越多的农村人口进入城市,城镇人口增加使得居民人均能源消费量增加,导致城镇人均能源消费效应对碳排放的影响在后 2 个时段为正,重庆市因其城市化水平在此阶段最高,从而表现出最为明显的正向效应(图 2,表 3).

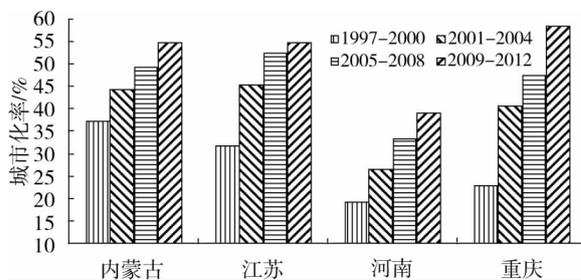


图2 河南、江苏、内蒙古和重庆4省区各时段城市化率

另一方面,随着城市化进程的加快,尽管农村居民人口减小,能源消费总量有可能下降,但农村居民人均能源消费量可能增加.原因是随着农村居民生活水平的不断提高,人们的消费倾向由生存型消费逐步转变为发展型消费,在交通通讯、教育文化娱乐和医疗保健等方面的间接能耗不间断增加,从而导致乡村人均能源消费对碳排放的效应趋向偏正(表 3).总体而言,相对于经济发展、能源强度和人口规模等驱动因子,人均能源消费效应对碳排放的影响较弱.

4 结论与建议

本文通过对中国大陆 30 个省区(不包括西藏) 1997~2012 年能源消费 CO₂ 排放量的估算、分析,以及利用 LMDI 指数分解模型对江苏、河南、内蒙和重庆 4 省区碳排放量驱动因素的分解,得出如下几点结论:

1) 与 1997 年相比,2012 年中国各省区能源消费 CO₂ 排放总量整体呈上升趋势,但各省区碳排放总量与增速明显不同.CO₂ 排放总量超过 2 亿 t 的省份由 1997 年的 1 个增加到 2012 年的 20 个,且主要分布在经济发达的东部地区和重工业比重较大以及能源资源丰富的省区;碳排放总量年均增幅排前 3 位的省份是宁夏、内蒙和海南,增幅最小的是北京和上海.人均 CO₂ 排放量最高的 3 个省区在 1997 年是上海、天津和北京,而在 2012 年是内蒙、宁夏和山西;2012 年除北京市人均碳排放量为负增长外,其它各省区均有不同程度的增加,其中内蒙古人均碳排放量增加幅度最显著.

2) CO₂ 排放强度存在明显的省区差异,总体上表现为东部省份<中部省份<西部省份.1997 年碳排放强度最高的是山西,约为福建省的 8 倍;2012 年碳排放强度最高的是宁夏,最低的是北京,二者相差 14 倍.从变化趋势看,同 1997 年相比,2012 年除青海、宁夏和海南 3 省的 CO₂ 排放强度仍在增加外,其它各省区均有明显的下降,只是降低幅度不同.

3) 在 1997~2012 年间,经济发展、人口规模、城市化水平对 4 省区碳排放总体上表现为正向驱动效

应,而能源消费强度、能源结构则表现为负向效应;其中人均GDP增长是导致能源消费CO₂排放上升的主导因素,而能源消费强度则是抑制CO₂增长的关键因素.此外,乡村人口比例、城市人均能源消费量和乡村人均能源消费量对4省区碳排放量的影响有限且都存在较弱的正负波动.

为减缓碳排放上升趋势和提高各省区差异化减排的有效性,特提出如下减排建议:第一,针对经济发达的东部沿海、南部沿海省区和京津地区,应以技术提升和产业结构调整扩大减排潜力,进一步优化能源结构,大力发展清洁能源;第二,对于中部、北部沿海和东北次发达省区,在提高全民减排意识的基础上,通过提升能源效率、承接东部产业和淘汰落后产能等方式降低单位能耗,扩大减排效果;第三,针对西北、西南不发达的省区,通过提高技术水平和产业调整结构,降低能源强度,同时培育发展新兴低碳产业,提升减排空间.

参考文献:

- [1] 孙建卫,赵荣钦,黄贤金,等.1995-2005 中国碳排放核算及其因素分解研究[J].自然资源学报,2010,25(8):1284-1295.
- [2] 杜官印,蔡运龙,李双成.1997-2007 年中国分省化石能源碳排放强度变化趋势分析[J].地理与地理信息科学,2010,26(5):76-81.
- [3] 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,2008,18(3):54-57.
- [4] 邓吉祥,刘晓,王铮.中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J].自然资源学报,2014,29(2):189-200.
- [5] 岳超,胡雪洋,贺灿飞,等.1995-2007 年我国省区碳排放及碳强度的分析—碳排放与社会发展Ⅲ[J].北京大学学报(自然科学版),2010,46(4):510-516.
- [6] 腾欣,李健,刘广为.中国碳排放预测与影响因素分析[J].北京理工大学学报(社会科学版),2012,4(5):11-18.
- [7] Zhang M, Mu H L, Ning YD, et al. Decomposition of energy-related CO₂ emission over 1991-2006 in China[J]. Ecological Economics, 2009(68): 2122-2128.
- [8] Ang J B. CO₂ emissions, research and technology transfer in China[J]. Ecological Economics, 2009, 68(10): 2658-2665.
- [9] Shrestha R M, Anandarajah G, Liyanage M H. Factors affecting CO₂ emission from the power sector of selected countries in Asia and the Pacific[J]. Energy Policy, 2009, 37(6): 2375-2384.
- [10] 张雷,黄园渐,李艳梅,等.中国碳排放区域格局变化与减排途径分析[J].资源科学,2010,32(2):211-217.
- [11] 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,2009,19(3):18-24.
- [12] 主春杰,马忠玉,王灿,等.中国能源消费导致的CO₂排放量的差异特征分析[J].生态环境,2006,15(5):1029-1034.
- [13] 冯相昭,邹骥.中国CO₂排放趋势的经济分析[J].中国人口·资源与环境,2008,18(3):43-47.
- [14] 郝珍珍,李健.我国碳排放增长的驱动因素及贡献度分析[J].自然资源学报,2013,28(10):1664-1673.
- [15] Liu L C, Wang J N, Wu G, et al. China's regional carbon emissions change over 1997-2007[J]. International Journal of Energy and Environment, 2010, 1(1): 161-176.
- [16] Geng Y, Tian M, Zhu Q, et al. Quantification of provincial-level carbon emissions from energy consumption in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(8): 3658-3668.