

黄蕊,王铮. 2013. 基于 STIRPAT 模型的重庆市能源消费碳排放影响因素研究[J]. 环境科学学报, 33(2): 602-608

Huang R, Wang Z. 2013. Influencing factors of carbon emissions from energy consumptions in Chongqing based on STIRPAT model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 33(2): 602-608

基于 STIRPAT 模型的重庆市能源消费碳排放影响因素研究

黄蕊¹, 王铮^{1,2,*}

1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062

2. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100080

收稿日期: 2012-04-24 修回日期: 2012-06-08 录用日期: 2012-07-12

摘要: 定量分析人类活动对环境的影响, 对减少碳排放和建设环境友好型社会具有重要的指导意义. 因此, 本文采用重庆市 1980—2010 年能源消费碳排放时间序列数据, 基于 STIRPAT 模型, 通过岭回归拟合得到能源消费碳排放与人口数量、人均 GDP 及其二次项、能源强度、第三产业比重、城镇化水平的多元线性模型. 结果表明, 人口数量、人均 GDP、能源强度、城市化水平每增加 1%, 将引起重庆市能源消费碳排放相应增加 0.963%、 $(0.398 + 0.463\ln A)\%$ 、0.059%、0.266%, 其中, A 为人均 GDP. 可以看出, 人口数量对重庆市能源消费碳排放量影响最大. 第三产业比重每增加 1%, 能源消费碳排放将会减少 0.093%.

关键词: 碳排放; STIRPAT 模型; 影响因素; 岭回归

文章编号: 0253-2468(2013)02-602-07 中图分类号: X171 文献标识码: A

Influencing factors of carbon emissions from energy consumptions in Chongqing based on STIRPAT model

HUANG Rui¹, WANG Zheng^{1,2,*}

1. East China Normal University, Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of Education, Shanghai 200062

2. Institute of Policy and Management Science, CAS, Beijing 100080

Received 24 April 2012; received in revised form 8 June 2012;; accepted 12 July 2012

Abstract: Carbon emissions from a city can be analyzed quantitatively to trace the impact of each human activity type on the environment. The analytic results provide useful guidance to carbon emissions policy making and sustainable urban development. This paper built a STIPRAT-based multivariate linear model fitted by a ridge regression to examine the relationship between carbon emissions from energy consumption and a list of human activity indices, including population, per capita GDP, energy intensity, proportion of the tertiary industry, and level of urbanization. For an empirical case study with time-series data (1980—2010) from the city of Chongqing, it was found that for 1% increase in population, per-capita GDP, energy intensity, and urbanization, there was 0.963%, $(0.398 + 0.463\ln A)\%$, 0.059%, and 0.266% increase in carbon emissions in the city, respectively, in which A refers to per capita GDP. Population contributed the most significantly to carbon emissions. In comparison, every 1% increase in the strength of the tertiary industry led to 0.093% emission reduction.

Keywords: energy carbon emissions; STIRPAT model; influencing factors; ridge regression

1 引言 (Introduction)

全球变暖已经成为一个不可争议的事实, 气候保护问题也是当前重大的环境经济问题 (IPCC,

2007). 自工业革命以来, 资本和能源密集型产业逐渐兴起与壮大, 伴随着能源消耗产生的 CO₂ 等温室气体在大气中大量聚集, 已成为导致近几十年来全球气温上升等一系列气候变化的“元凶” (王铮等,

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 41071089); 国家重点基础研究计划 (973) 项目 (No. 2012CB955803)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41071089) and the National Basic Research Program of China (No. 2012CB955803)

作者简介: 黄蕊 (1987—), 女, 博士生, E-mail: huangrui4420@163.com; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: wangzheng@casipm.ac.cn

Biography: HUANG Rui (1987—), female, Ph. D candidate, E-mail: huangrui4420@163.com; * Corresponding author, E-mail: wangzheng@casipm.ac.cn

2008). 因此,气候变化已成为人类当今面临的最严峻的挑战之一,能源-经济-环境问题也成为世界各国决策者关注的焦点(陈文颖等,1998). 2009年哥本哈根会议上,我国政府承诺到2020年单位国内生产总值CO₂排放量比2005年下降40%~45%,并将其作为约束性指标纳入到国民经济和社会发展中长期规划中(张乐勤等,2012). 这不仅需要我们从全局出发考虑碳排放的影响,还应从区域上把握碳排放的格局变化(赵云泰等,2011).

如何在保持经济平稳增长的同时有效减少碳排放是我国各省市自治区所面临的一个重大挑战. 事实上,环境-经济问题不仅是各国政府关注的问题,也是学术界关注的焦点. 20世纪70年代美国生态学家 Ehrlich 和 Commoner 提出 IPAT 模型以评估环境压力,这个模型表明,人口(P)、人均财富量(A)和技术(T)及三者之间的相互作用都会对环境产生重要影响(Ehrlich *et al.*, 1971; 1972). 在此基础上,有学者对其进行了改进,提出了不同形式的分析模型. 例如, Waggoner 等(2002)发展了 ImPACT 模型,把 IPAT 等式中的技术 T 分解成单位 GDP 的消费和单位消费产生的影响,目的是找出一些能够减少环境影响的人文驱动因素; Schlze 认为人类行为同样对驱动环境压力的变化起到关键作用,提出 IPAT 等式的另一种扩展式子,即 IPBAT,其中 B 表示人类行为(Schulze *et al.*, 2002); 1994年, York、Dietz 等基于 IPAT 模型,提出了其随机特殊形式——STIRPAT 模型,考虑了人口、财富和技术因素各自不同变动对环境的单独影响,消除了同比例变动问题的影响(York *et al.*, 2003a; 2003b). 该模型在学术界得到普遍认可,并得到了广泛的应用. 国内也有很多学者应用 STIRPAT 模型从国家和省区以及城市角度评估各个因素对环境的影响,例如,王立猛等(2006; 2008)利用 STIRPAT 模型,评估了中国大陆 30 个省市自治区的环境压力; 燕华等(2010)基于 STIRPAT 模型分析了 CO₂ 控制下上海市的发展模式; 卢娜等(2011)基于 STIRPAT 模型分析了苏锡常地区 1991—2008 年能源消费碳足迹的影响因素. 能源消费碳排放是衡量一个地区环境压力的重要指标,运用 STIRPAT 模型分析能源消费碳排放的影响因素,可以很好地反映一个地区环境压力的变化,为区域可持续发展提供决策依据.

重庆是中国西部地区唯一的直辖市,在西部大开发机遇的推动下,重庆市经济发展迅速,已经

成为中国经济最活跃地区之一,并成为中国西部最重要的经济增长中心(李孝坤等,2010). 在经济发展的同时,重庆市的环境问题也日益突出,但因为对造成环境问题的因素缺乏定性和定量研究,进一步加重了重庆市生态环境的恶化问题. 鉴于此,本文在计算重庆 1980—2010 年能源消费碳排放的基础上,应用 STIRPAT 模型,分析人口、富裕度及技术等经济和社会因素对近 30 年来重庆能源消费碳排放的影响程度,以为重庆市能源环境的可持续发展提供政策建议.

2 研究方法(Study methods)

2.1 STIRPAT 模型

STIRPAT 模型是经典的 IPAT 等式改造而成的随机形式,可表示为(焦文献等,2012):

$$I = aP^bA^cT^de \quad (1)$$

式中, I 、 P 、 A 、 T 表示环境影响、人口因素、财富因素和技术因素表征值, a 为模型系数, b 、 c 、 d 分别为人口、财富和技术因素的系数, e 为随机误差项. IPAT 模型是 STIRPAT 模型的特殊形式,即 $a = b = c = d = e = 1$.

STIRPAT 模型是一个多自变量的非线性模型,将模型两边取对数,可写为:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (2)$$

以 $\ln I$ 作为因变量, $\ln P$ 、 $\ln A$ 、 $\ln T$ 作为自变量, $\ln a$ 作为常数项, $\ln e$ 作为误差项,对经过处理后的模型进行多元线性拟合. 根据弹性系数概念, P 、 A 、 T 每发生 1% 变化,将分别引起 I 发生 $b\%$ 、 $c\%$ 、 $d\%$ 变化.

可以看出,STIRPAT 模型不仅允许将各个系数作为参数来进行估计,而且也允许对各个影响因素进行适当的分解,因而被广泛用于实际环境问题分析上(吴敬锐等,2011; Shi, 2003; Soule *et al.*, 1998).

2.2 模型扩展及变量说明

结合重庆市的实际情况,本文对 STIRPAT 模型进行了扩展,选取能源强度、第三产业产值占 GDP 的比重和城市化水平 3 个因素作为技术要素的表征,研究重庆市能源消费碳排放的影响因素. 其中,能源强度以单位 GDP 能源消费量为表征,它反映了一个地区的能源利用水平. 相比第二产业,第三产业对能源的依赖度低,产业结构向低能耗的第三产业转移是表征一个地区经济发展水平的结构化指

标. 城市化水平是衡量一个地区社会发展水平的现代化指标(吴敬锐等, 2011), 近年来, 重庆市大力进行户籍制度改革, 城市人口明显增多, 因此, 有必要对城市化引起的能源消费进行研究. 本文构建如下模型:

$$I = \alpha P^{\beta_1} A^{\beta_2} \tau^{\beta_3} S^{\beta_4} U^{\beta_5} \varepsilon \quad (3)$$

式中, I 为能源消费碳排放量(万 t)即环境影响表征值; α 为常数; P 为常住人口数(万人); A 为富裕度(财富因素表征值), 以人均 GDP 表示(元·人⁻¹), 折算为 2005 年可比价; τ 为能源强度, 以能源消耗总量与 GDP 总额之比表示(t(标煤)·万元⁻¹); S 为产业结构状况, 以第三产业产值占 GDP 的比重表征; U 为城市化水平, 以城镇人口占常住人口的比值衡量; ε 为模型随机干扰项,

为了通过回归分析确定有关参数, 对式(3)两边取对数, 得:

$$\ln I = \ln \alpha + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln A + \beta_3 \ln \tau + \beta_4 \ln S + \beta_5 \ln U + \ln \varepsilon \quad (4)$$

式中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 为弹性系数, 表示当 P, A, τ, S, U 每变化 1% 时, 分别引起 I 的 $\beta_1\%, \beta_2\%, \beta_3\%, \beta_4\%, \beta_5\%$ 变化.

为了考察富裕度与能源消费碳排放之间是否存在倒 U 型环境库兹涅兹曲线, 将模型(4)的自变量 $\ln A$ 分解成 $\ln A$ 与 $(\ln A)^2$ 两项(王立猛等, 2008), 模型调整为:

$$\ln I = \ln \alpha + \beta_1 \ln P + \beta_{21} \ln A + \beta_{22} (\ln A)^2 + \beta_3 \ln \tau + \beta_4 \ln S + \beta_5 \ln U + \ln \varepsilon \quad (5)$$

式中, β_{21}, β_{22} 为富裕度对数系数及其富裕度对数二次项的系数.

式(5)中对 $\ln A$ 求一阶偏导数, 可以得到富裕度对能源消费碳排放的弹性系数 EE_{IA} 为:

$$EE_{IA} = \beta_{21} + 2\beta_{22} \ln A \quad (6)$$

已知 $\ln A$ 的值, 根据式(6)可计算 EE_{IA} 值, 如果 β_{22} 值为负, 就可确定存在环境库兹涅兹曲线及存在环境开始改善的富裕状态值.

3 数据分析(Data analysis)

3.1 数据来源

模型中需要的经济与社会数据来自《重庆统计年鉴》(2011 年), GDP 换算成 2005 年可比价. 时间序列选为 1980—2010 年, 其中城市化水平只有 1996—2010 年的数据, 对其进行指数(式(7))拟合, 其中, R^2 为 0.990, 进而可以推算以前的城市化

水平.

$$U(t) = 28.914e^{0.043(t-1996)} \quad (7)$$

式中, $U(t)$ 表示第 t 年的城市化水平.

3.2 能源消费碳排放量

能源消费碳排放量的计算公式为(王铮等, 2010):

$$C(t) = E(t) \sum_i^3 s_i(t) c_i \quad (8)$$

式中, $C(t), E(t)$ 分别代表第 t 年的能源消费碳排放量(10^6 t)、能源消费量(10^6 t(标煤)), $s_i(t)$ 表示第 t 年分品种能源 i 的消费比例, c_i 表示分品种能源 i 的碳排放系数. 碳排放系数本文采用美国能源部能源情报署(EIA)、日本能源研究经济所、国家科委气候变化项目和国家发展与改革委员会能源研究所的分品种能源碳排放系数的平均值: 煤炭 0.733, 石油 0.557, 天然气 0.423(陈志建等, 2012).

为了消除不同量纲带来的影响, 采用总和和标准化的方法对重庆市的能源消费碳排放及其影响要素数据进行处理, 分别求出各类要素所对应的数据的总和, 以各要素数据除以该要素数据的总和(徐建华, 2005), 即:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

这种标准化方法所得到的新数据为:

$$\sum_{i=1}^m x'_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

重庆市能源消费碳排放量及其影响因素的发展趋势如图 1 所示. 从图 1 可以看出, 重庆市能源消费碳排放量及其各影响因素的发展情况大致分为两个阶段: 1980—1992 年和 1993—2010 年. 从图中可以看出, 1980—1992 年重庆市能源强度波动明显, 1986 年以后能源强度略有上升并维持平稳, 从 1990 年起又开始下降. 这段时期内重庆市能源消费碳排放量和其他影响因素呈现出缓慢增长的趋势. 1993—2010 年重庆市能源消费碳排放量及其影响因素波动都较为明显, 除能源强度外, 碳排放量和其他因素都呈现快速上升的趋势. 这段期间重庆市经济和社会发展迅速, 1997 年重庆被设立为直辖市, 经济迅速腾飞, 可以看出人均 GDP 几乎呈指数增长, 与此同时, 能源消费碳排放量也迅速增加. 从图 1 中不难发现, 这段时期重庆市城市化水平也呈现出持续增长的态势, 这是因为重庆市户籍制度改

革,大量农村人口转变成城镇户口的缘故.从图 1 中还可以看出,尽管 2006 年以来重庆市第三产业的比重有所降低,但总体来看仍表现出增长的趋势.第三产业以旅游业和服务业为主,由于耗能低、污染少,发展第三产业有利于减少重庆市的碳排放.相比之下,重庆市的人口增长较为平缓,但重庆市人口基数大,2010 年常住人口达到 2800 万,居民对能源的大量需求是造成重庆市能源消费碳排放增长的另一个不可忽视的原因.1993—2010 年期间内重庆市能源强度继续表现出下降的趋势,2005 年有小幅上升,之后虽呈现降低的趋势,但仍高于 2005 年前的能源强度,直到 2009 年能源强度值才得到绝对降低.这是因为重庆市经济发展势头强劲,能源消耗大,2005 年能源消费量达到 4465 万 t 标煤,增长率为 21.7%.

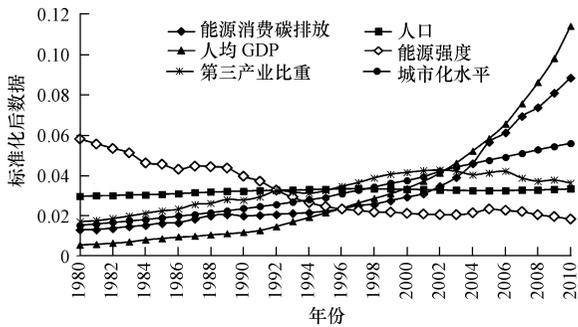


图 1 1980—2010 重庆能源消费碳排放及其影响因素变化趋势图
Fig. 1 Change trend of energy carbon emissions and its influencing factors in Chongqing from 1980 to 2010

3.3 能源结构

重庆市的能源消费结构如图 2 所示,可以看出,煤炭在能源消费中的比重远高于其他能源,平均为 71.5%.1996 年以后煤炭的比重有所降低,但仍在

60% 以上,2002 年起,煤炭在能源消费中的比重又呈现出增加的趋势,维持在 70% 左右.重庆市石油的消费比例相比上海和北京较低,但表现出波动中上升的趋势,这是由于近年来私家车增多,石油消耗量大所致.天然气和水电在重庆市能源消费中所占比例相对比较高,平均分别为 12.49% 和 9.03%.水电是非碳能源,重庆市应进一步扩大水电的消费比例,改善能源结构,从而减少碳排放.

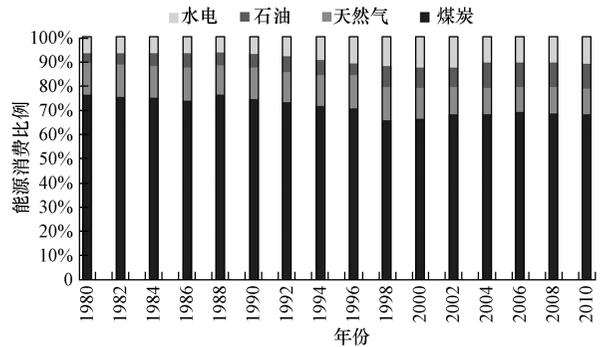


图 2 1980—2010 年重庆能源结构图

Fig. 2 Energy structures in Chongqing from 1980 to 2010

4 结果分析 (Results analysis)

4.1 模型岭回归分析

根据收集到的指标数据,以线性 STIRPAT 方程为模型,应用 SPSS 进行多元回归分析,结果见表 1.由表 1 可知,方差膨胀因子远远高于 10,并且人均 GDP 对数系数和人均 GDP 对数二次项系数的方差膨胀因子高达 1627 和 1763,说明变量之间存在严重的多重共线性.因此,普通最小二乘法拟合出的系数无法得到可靠的保证,不能根据普通最小二乘法拟合的结果进行判断,必须消除自变量的多重共线性才能得到稳健的结果.

表 1 普通最小二乘法估计结果

Table 1 Estimates by ordinary least squares

变量	系数	标准误差	标准系数	t 统计值	Sig.	容差	方差膨胀因子
常量	8.303	0.500		16.589	0		
lnP	1.285	0.118	0.086	10.889	0	0.092	10.863
lnA	0.815	0.601	1.290	13.334	0	0.001	1627.452
(lnA) ²	-0.032	0.008	-0.379	-3.765	0.001	0.001	1763.142
ln τ	1.195	0.020	0.800	59.723	0	0.032	31.213
lnS	-0.613	0.050	-0.082	-3.265	0.003	0.009	110.054
lnU	0.077	0.091	0.055	0.838	0.410	0.001	746.864

注: $R^2 = 1.000$, F 统计量为 28956.846, Sig. (F 统计量) = 0.

岭回归分析是一种专用于共线性数据分析的

有偏估计回归方法,它实质是改良的最小二乘法估

计,通过放弃最小二乘法的无偏性,以损失部分信息、放弃部分精度为代价来寻求效果稍差但更符合实际、更可靠的回归方程.故岭回归所得剩余标准差比最小二乘法回归要大,但对病态数据的耐受性远远强于最小二乘法(姜磊等,2011).因此,本文选择岭回归来解决多重共线性问题,利用 SPSS18.0 软件的岭回归函数对模型方程(5)进行拟合,岭回归系数 k 在(0,1)区间,以步长为 0.01 进行取值.当 $k=0.10$ 时,岭迹图变化逐渐平稳,具体的岭回归估计结果如表 2 所示.

表 2 岭回归估计结果

Table 2 Estimates by ridge regression

变量	系数	标准误差	标准系数	t 统计值	Sig.
常数	-0.026	0.012	0	-2.168	0.040
$\ln P$	0.963	0.381	0.058	2.532	0.018
$\ln A$	0.398	0.010	0.536	40.606	0
$(\ln A)^2$	0.218	0.006	0.588	38.056	0
$\ln \tau$	0.059	0.004	0.562	16.024	0
$\ln S$	-0.093	0.027	-0.098	-3.414	0.002
$\ln U$	0.266	0.016	0.409	16.715	0

注: $R^2=0.998$, F 统计量为 1832.428,Sig.(F 统计量)=0.

4.2 回归结果分析

从岭回归的结果来看,模型模拟效果不仅显著,而且非常符合实际情况.从系数来看,人口、人均 GDP、能源强度、城市化水平的增加都会促进重庆市能源消费碳排放量的增加,第三产业产值比重增加则会减少重庆市的能源消费碳排放量.

从系数大小来看,人口数量是重庆市能源消费碳排放量的最重要的影响因素,人口数量每提高 1%,就使得重庆市能源消费碳排放量提高 0.963%,这是由人口对能源的绝对需求决定的.重庆作为西部地区唯一的直辖市,是西南地区的一个重要经济增长极,吸引了大量的优秀人才,同时也接受了大量的外来人员,人口增长很快,因此,未来对能源的需求将会进一步增加.

人均 GDP 是影响重庆市能源消费碳排放量的另一个重要因素,人均 GDP 每提高 1%,重庆市的能源消费碳排放量将增加 0.398%,是影响重庆市能源消费碳排放的第二大因素,这是因为重庆市经济增长和人口对能源消费的需求都比较大.而上海市社会经济发展对能源消费的依赖程度不高,人均 GDP 每提高 1%,上海市能源消费仅增加 0.10%(姜磊等,2011).这反映出相比上海市,重庆市的能

源效率不高,重庆市的产业结构也需要进一步优化,进一步增加耗能少的第三产业在 GDP 中的比重.

$$\ln I = -0.026 + 0.963 \ln P + 0.398 \ln A + 0.218 (\ln A)^2 + 0.059 \ln \tau - 0.093 \ln S + 0.266 \ln U \quad (11)$$

源效率不高,重庆市的产业结构也需要进一步优化,进一步增加耗能少的第三产业在 GDP 中的比重.

从表 2 可知,人均 GDP 对数的二次项系数大于零,即在观测数据范围内,或者说在最近一个阶段,重庆的人均 GDP 与能源消费碳排放量之间没有表现出环境库兹涅茨曲线所预示的关系,事实上刘晓(2011)发现,在最优平稳增长情况下,重庆市的能源消费碳排放峰值出现在 2033 年,此前随着重庆市 GDP 的增加与能源消费的碳排放量呈现增加趋势.国内很多学者对中国各省区经济发展与能源消费带来的环境影响是否存在“倒 U 型”关系进行了相应的研究,卢娜等(2011)的研究表明,江苏省苏锡常地区作为我国经济较发达的地区之一,其经济的发展并未带来能源消费碳足迹减少的拐点.吴敬锐等(2011)对新疆的分析结果也不支持环境库兹涅茨曲线的论断.这一方面反映出我国各省区的经济发展与环境保护尚未实现协同发展.但是理论上重庆有望 2030 年后可能达到环境库兹涅茨曲线顶点说明区域碳排放分析,不仅要考虑历史数据,也需要对未来碳排放进行动力学研究.对重庆市、新疆等地能源碳排放的长期预测我们将另文介绍.人

均 GDP 对能源消费碳排放影响的弹性系数可通过 $0.398 + 0.436\ln A$ 计算得到。

如表 3 所示,随着人均 GDP 的增加,对能源消费碳排放的影响逐渐增大,这是由重庆市当前所处的经济发展阶段决定的,重庆市仍处于“先污染后治理”的以牺牲环境为代价的粗放式经济增长阶段。作为西部地区最具活力和发展潜力的城市,重庆市工业化及城市化进程仍将引起碳排放的增加,

因此,重庆市要转变经济增长方式,走节约型经济道路未来还需要付出很大努力。从表 3 中可以看出,就目前阶段而言,随着富裕度的增加,富裕度对碳排放的影响的弹性系数有增大趋势,弹性系数的变化值呈现出减小的趋势,这是因为富裕度水平增加会使得技术进步速度加快,而技术进步有利于减少碳排放。

表 3 不同人均 GDP 对能源消费碳排放的影响的弹性系数

Table 3 Elasticity coefficient of per capital regional GDP influenced on carbon emissions

A	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
EE_{IA}	3.712	4.014	4.191	4.316	4.414	4.493	4.560	4.619	4.670	4.716
ΔEE_{IA}		0.302	0.177	0.125	0.097	0.079	0.067	0.058	0.051	0.046
A	22000	24000	26000	28000	30000	32000	34000	36000	38000	40000
EE_{IA}	4.757	4.795	4.830	4.863	4.893	4.921	4.947	4.972	4.996	5.018
ΔEE_{IA}	0.042	0.038	0.035	0.032	0.030	0.028	0.026	0.025	0.024	0.022

注:A 为人均 GDP(元 \cdot 人 $^{-1}$,2005 年可比价), EE_{IA} 为弹性系数, ΔEE_{IA} 为弹性系数的变化值。

城市化水平也是造成重庆市能源消费碳排放增加的一个因素。岭回归的结果表明,城市化水平增加 1%,将会造成重庆市的碳排放增加 0.266%。作为一个拥有大农村的直辖市,1997 年,重庆市城市化率仅为 31.00%,到 2010 年城市化率达到 53.02%,高于全国平均水平 3.34%。当然,伴随着城市化的推进,城市建筑、交通及居民住宅等对能源的需求也不断增长,从而增加了重庆市的碳排放。

能源强度是除人口数量、富裕度、城镇化水平外另一个引起重庆市碳排放增加的因素。能源强度每增加 1%,将会造成重庆市碳排放增加 0.059%。通过对重庆市 1980—2010 年的能源强度进行指数拟合,发现重庆市的能源强度是不断下降的,下降速率为 0.04, R^2 为 0.895;对 1980—2010 年的重庆市能源消费碳排放量进行指数拟合,发现碳排放量的上升速率是 0.06, R^2 为 0.912。这说明目前重庆市能源强度的降低还没有起到减少碳排放的作用,这仍与重庆市的能源结构有关,重庆市的能源消费以煤炭为主,且大多为原煤直接燃烧。虽然技术进步提高了能源的利用效率,但仍未达到降低能源消费量的程度。

产业结构对一个地区的碳排放也有着重要作用。岭回归结果表明,重庆市第三产业比重每增加 1%,将会使得能源消费碳排放减少 0.093%,可以看出重庆市第三产业的增加对降低能源消费碳排放的作用较小。重庆市的批发、零售业及服务业发

展较好,早在 1999 年第三产业在 GDP 中的比重已经超过 40%,在推动经济增长的同时也减少了对能源的消耗,从而避免了 CO_2 的大量排放。但近年来第三产业的比重却有减少的趋势,以工业和建筑业为代表的第二产业的比重却逐年增加,这不利于重庆市的节能减排。未来,重庆市仍应坚持发展第三产业,努力提高第三产业的比重,使产业结构更低碳环保。

5 结论 (Conclusions)

1) 人口数量、人均 GDP、能源强度、城市化水平每增加 1%,将引起重庆市能源消费碳排放相应增加 0.963%、 $(0.398 + 0.436\ln A)\%$ (A 为人均 GDP)、0.059%、0.266%。其中,人口数量对碳排放影响最大,人均 GDP 次之,能源强度影响最小。第三产业比重每增加 1%,能源消费碳排放将会减少 0.093%。

2) 人均 GDP 对数的二次项系数为正,即在观测数据范围内,富裕度与能源碳排放之间的库茨涅茨曲线特征还没有出现。随着富裕度的增加,其对碳排放的影响的弹性系数逐渐增大,但弹性系数的变化值逐渐减小。

6 建议 (Suggestions)

重庆市目前的能源消费碳排放趋势和能源消费结构表明未来重庆市碳排放量仍将继续增加,这

不仅会进一步加剧生态环境压力,也使得重庆市面临较大的减排压力. 因此,本文提出如下建议:①坚持落实并执行计划生育政策,与周边城市合作,积极疏导外来务工人员,完善现有的户籍制度,控制重庆市人口总数;②城镇化进程中,新增建筑能源消耗量大,将产生大量的二氧化碳,而拆除旧建筑又将产生大量建筑垃圾,因此政府应倡导使用更为环保的材料代替传统水泥,并且增加建筑寿命,提高建筑质量,减少由此产生的建筑垃圾;③大力发展节能减排技术,提高技术进步率,并将其转化成生产力,提高能源效率,降低能源强度;④优化产业结构,制定合理政策鼓励低耗能、高附加值的第三产业发展,优化第二产业内部结构,逐步淘汰高能耗、高污染的行业,促进高新技术产业发展;⑤调整能源结构,利用地理优势,以三峡建设为机遇,积极发展水力发电,深入开发风能、太阳能和生物质能等清洁能源和可再生能源,提高非碳能源在能源消费中的比例,减少对富碳能源如煤和石油的使用;⑥充分发挥媒体的优势与作用,广泛宣传绿色生活理念,倡导低碳的居民生活方式和消费方式,缓解重庆市的能源压力,减少居民生活产生的碳排放。

致谢:感谢华东师范大学季民河教授和审稿人的帮助。

责任作者简介:王铮(1954—),男,教授,博士生导师,主要从事经济计算、地理计算区域科学与管理研究. E-mail: wangzheng@casipm.ac.cn.

参考文献(References):

- 陈文颖,吴宗鑫. 1998. 气候变化的历史责任与碳排放配额分配[J]. 中国环境科学,18(6):481-485
- 陈志建,王铮. 2012. 地方政府碳减排压力驱动因素差异性研究——基于STIRPAT模型[J]. 资源科学,34(4):1-7
- Ehrlich P R, Holden J P. 1971. Impact of population growth[J]. Science, 171:1212-1217
- Ehrlich P R, Holden J P. 1972. One dimensional economy[J]. Bulletin of Atomic Scientists, 16:18-27
- IPCC. 2007. Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Geneva, Switzerland: IPCC. 1-104
- 焦文献,陈兴鹏. 2012. 基于STIRPAT模型的甘肃省环境影响分析——以1991—2009年能源消费为例[J]. 长江流域资源与环境,21(1):105-110
- 姜磊,季民河. 2011. 基于STIRPAT模型的上海市能源消费影响因素研究[J]. 上海环境科学,30(6):240-244
- Liu X, Huang R, Wang R. 2011. A dynamic estimation of Carbon emissions in Chongqing[C]. PRSCO-2011. Soul
- 卢娜,曲福田,冯淑怡,等. 2011. 基于STIRPAT模型的能源消费碳足迹变化及影响因素以江苏省苏锡常地区为例[J]. 自然资源学报,26(5):814-824
- 李孝坤,韦杰. 2010. 重庆市都市区环境压力与经济发展退耦研究[J]. 自然资源学报,25(1):139-147
- Schulze P C. 2002. I = PBAT[J]. Ecological Economics, 40:149-150
- Shi A. 2003. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975—1996: Evidence from pooled cross-country data [J]. Ecological Economics, 44:24-42
- Soule' P T, DeHart J L. 1998. Assessing IPAT using production-and consumption-based measures of I[J]. Social Science Quarterly, 79(4), 754-765
- Waggoner P E, Ausubel J H. 2002. A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99:7860-7885
- 王铮,朱永彬. 2008. 我国各省区碳排放量状况及减排对策研究[J]. 中国科学院院刊,23(2):109-115
- 王铮,朱永彬,刘昌新,等. 2010. 最优增长路径下的中国碳排放估计[J]. 地理学报,25(12):1559-1568
- 王立猛,何康林. 2006. 基于STIRPAT模型分析中国环境压力的时间差异——以1952—2003年能源消费为例[J]. 自然资源学报, 21(6): 862-869
- 王立猛,何康林. 2008. 基于STIRPAT模型的环境压力空间差异分析——以能源消费为例[J]. 环境科学学报, 28(5): 1032-1037
- 吴敬锐,杨兆萍,阿达衣赛肯. 2011. 基于STIRPAT模型分析新疆能源足迹的影响因素[J]. 干旱区地理,34(1):187-192
- 徐建华. 2005. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社. 69-71
- York R, Rosa E, Dietz T. 2003a. Footprints on the earth: the environmental consequences of modernity [J]. American Sociological Review, 68(2), 279-300
- York R, Rosa E A, Dieta T. 2003b. STIRPAT, IPAT and Impact: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 46(3):351-365
- 燕华,郭运功,林逢春. 2010. 基于STIRPAT模型分析CO₂控制下上海城市发展模式[J]. 地理学报,65(8):984-990
- 张乐勤,李荣富,陈素平,等. 2012. 安徽省1995—2009年能源消费碳排放驱动因子分析及趋势预测——基于STIRPAT模型[J]. 资源科学,34(2):316-327
- 赵云泰,黄贤金,钟大洋. 2011. 1999—2007年中国能源消费碳排放强度空间演变特征[J]. 环境科学,32(11):3145-3152