

基于空间面板模型的碳排放影响因素分析——以长江经济带为例

李建豹¹, 黄贤金^{1, 2*}

【摘要】随着全球变暖问题的日益严峻, 气候问题引起了国际社会的广泛关注。长江经济带作为中国区域发展“三大战略”之一, 面临着严峻的碳减排压力。为此, 以二氧化碳排放为测度指标, 定量分析了1998~2012年长江经济带二氧化碳的时空格局特征, 并构建碳排放影响因素的空间面板模型, 分析了产业结构、人口总量、经济水平、技术水平与城市化水平对长江经济带碳排放的影响。研究表明: ①碳排放的绝对差异呈增大趋势, 相对差异呈波动变化趋势; 碳排放与人均GDP(1997年不变价)的相关性较弱; ②碳排放空间格局相对稳定, 高碳排放区域以江苏为中心, 逐渐向四周扩散; ③空间面板模型结果表明: 人口总量是影响长江经济带碳排放时空格局演化的决定性因素, 其次依次为经济水平、技术水平和城市化水平。

【关键词】碳排放; 时间特征; 空间格局演化; 空间面板模型; 长江经济带

【中图分类号】: X5 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2015)10-1665-07

随着全球变暖问题的日益严峻, 气候问题引起了各国政府的高度重视。中国已成为CO₂排放最多的国家, 在2009年中国政府提出, 到2020年单位GDP的CO₂排放比2005年下降40%~45%, 并作为约束性指标纳入到国民经济和社会发展的中长期规划, 在2014年《中美气候变化联合声明》中宣布计划在2030年前后达到碳排放峰值。系统全面地研究碳排放的时空格局及其影响因素, 通过控制影响碳排放的主要因素, 可以有效地降低碳排放强度, 控制碳排放总量, 对于实现碳排放强度目标和总量目标, 具有重要的理论意义和现实意义。

国内外学者从不同尺度研究了碳排放问题, 主要是从国家^[1~8]、地区^[9, 10]、省^[11~14]、经济带^[15]、市^[16~18]等尺度。Freitas等^[1]采用LMDI方法分析了巴西影响碳排放的主要因素发现, 碳排放强度和能源结构对减少碳排放具有重要作用。程叶青等^[8]运用空间面板计量模型, 分析了形成中国省域尺度碳排放强度时空格局的主要影响因素, 结果表明, 能源结构、能源强度、城市化率和产业结构是影响中国能源消费碳排放强度时空格局演变的重要因素。李建豹等^[9]基于STIRPAT扩展模型分析了西北地区家庭生活碳排放的影响因素发现, 碳排放强度是影响人均二氧化碳排放的最大驱动因素。余建清等^[13]采用因素分解法对广东省碳排放的影响因素进行了定量分析, 结果显示, 影响广东省碳排放地域差异的主要因素有能源结构、能源消耗强度、人口因素及经济发展状况等。谢守红等^[18]运用改进的差值因素分解法, 从效率效应和结构效应两方面, 对无锡市工业碳排放强度变化的内在动因进行了分析发现, 1999~2005年影响碳排放强度下降的主要因素是结构效应, 2005~2010年影响碳排放强度下降的主要因素是效率效应。

收稿日期: 2015-04-16; **修回日期**: 2015-07-23

基金项目: 中国清洁发展机制基金赠款项目(1214073); 中国清洁发展机制基金赠款项目(2012065)

作者简介: 李建豹(1986~), 男, 博士, 主要研究方向为区域发展与区域管理、土地利用与规划。E-mail: lijianbao888@126.com

***通讯作者**: E-mail: hxj369@njuedu.cn

1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京210023;

2. 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室, 江苏南京210023

现有研究针对国家尺度较多，而针对经济带较少，至今在CNKI中未检索到有关长江经济带碳排放影响因素分析的文献，作为中国三大区域发展战略之一的长江经济带，对中国社会经济发展具有巨大作用，同时，对实现中国碳减排目标具有重要作用，因此，本文选择长江经济带为研究区，研究了1998~2012年二氧化碳排放（下文简称“碳排放”）的时空格局，并构造空间面板模型分析了碳排放时空格局演化的主要影响因素，该研究有利于清楚地了解长江经济带的碳排放现状、演化规律及影响碳排放的主要因素，为制定针对长江经济带的碳减排政策提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

文中长江经济带的范围是国家发展与改革委员会划定的范围，即包括四川、云南、重庆、贵州、湖北、湖南、安徽、江西、江苏、浙江和上海。长江经济带是中国国土开发与经济布局“T”型空间结构战略中的一条极其重要的一级发展轴^[19]。2012年长江经济带的土地面积、常住人口、地区生产总值和碳排放总量分别占中国的21.4%、42.7%、45.5%和34.2%。人口规模和经济规模约占中国的1/2，碳排放总量占中国的1/3，经济水平略高于中国平均水平，因此，长江经济带是中国人口、经济、城市密集的重要发展轴，也是中国主要的碳排放区域之一。作为国家三大区域发展战略之一的长江经济带发展战略，对于推动我国经济持续健康发展具有重要作用，经济发展的同时，势必带来碳排放增加。因此，研究长江经济带的碳排放时空格局演化及其影响因素，对于保证中国顺利完成碳减排目标，具有重要的意义。

1.2 数据来源

计算碳排放量的化石燃料消费数据源于1999~2013年《中国能源统计年鉴》。各种化石燃料的热量转换系数与碳排放因子主要源于2007年国家发展和改革委员会能源研究所出版的《温室气体清单研究》、《2006年IPCC国家温室气体清单指南》^[20]，其它数据源于1999~2013年《中国统计年鉴》，图形数据源于国家基础地理信息中心1:4000000数据库。

1.3 研究方法

由地理学第一定律可知^[21]，任何事物都与其他事物存在空间联系，距离较近的比远的联系强。因此，对碳排放影响因素的分析应考虑空间效应，本文构建空间面板模型研究碳排放影响因素。根据研究需要，选择常用的空间面板模型，即空间滞后面板模型和空间误差面板模型^[22]，以1998~2012年碳排放量为被解释变量，从人口总量、经济水平、技术水平、产业结构和城市化水平等方面，选择1998~2012年年末总人口、人均GDP、碳排放强度、二三产业比重和城镇化率为解释变量，构建空间滞后面板模型如下^[23]：

$$Y_{it} = a + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt} + bP_{it} + cGDP_{it} + dCI_{it} + eIS_{it} + fU_{it} + \mu_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

研究的时间序列（ $t = 1, 2, \dots, T$ ）； W_{ij} 为空间权重矩阵， Y_{it} 代表i省域t时期的碳排放总量（百万吨）； P_{it} 代表i省域t时期的年末总人口（万人）， GDP_{it} 代表i省域t时期的人均GDP（元）； CI_{it} 代表i省域t时期的碳排放强度（ $t \text{ CO}_2 / \text{万元}$ ）； IS_{it} 代表i省域t时期的二三产业比重； U_{it} 代表i省域t时期的城镇化率； a 表示常数项， b 、 c 、 d 、 e 和 f 分别为解释变量 P_{it} 、 GDP_{it} 、 CI_{it} 、 IS_{it} 和 U_{it} 的弹性系数。” μ_i 表示空间效应， v_t 表示时期效应， ϵ_{it} 表示随机误差项。

构建空间误差面板模型如下^[23]：

$$Y_{it} = a + bP_{it} + cGDP_{it} + dCI_{it} + eIS_{it} + \epsilon_{it} + \phi_{it}$$
$$\epsilon_{it} + \phi_{it} \quad \phi_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} \phi_{jt} + \epsilon_{it}$$

(2)

式中： ϵ_{it} 为空间自相关的误差项； λ 表示空间误差（自相关）系数。

2 碳排放时间特征分析

2.1 碳排放的绝对差异呈增大趋势，相对差异呈波动变化趋势

采用国际公认的IPCC参考算法，计算长江经济带中各省市的能源碳排放量。由图1可知，以标准差测度的碳排放的绝对差异总体上呈增大趋势，大致可分为4个阶段：1998~2003年，碳排放绝对差异变化较小，可能是受1998年亚洲金融危机的影响，导致经济发展速度减慢，其对发达地区的影响较大，而对相对落后地区的影响较小，导致了碳排放绝对差异变化较小；2003~2007年，碳排放绝对差异迅速增大；2007~2009年，碳排放绝对差异基本保持不变，主要是受2008年全球金融危机的影响；2009~2012年，碳排放绝对差异迅速增大，由于中国积极采取应对全球金融危机的措施，刺激经济发展，使得碳排放绝对差异增大。以变差系数测度的碳排放的相对差异呈波动变化趋势，呈现一定的周期性，基本以5a为周期，可能与中国实施的“五年计划”有关，大致可以分为3个阶段：1998~2003年，呈典型的“倒U型”，2003~2009年，呈“倒U型”，但不如1998~2003年明显，2004~2007年变化较小，2009~2012年，呈增加的趋势。

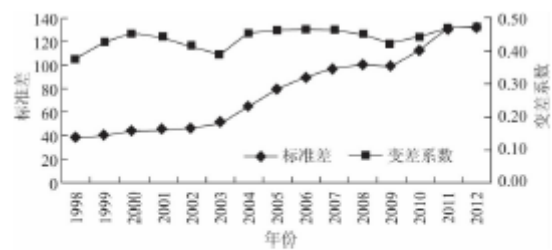


图1 1998~2012年长江经济带碳排放变化
Fig. 1 Changes of Carbon Emissions in Yangtze River Economic Belt During 1998—2012

2.2 碳排放呈右偏态，与人均GDP的相关性较弱

由图2可知，碳排放的偏度系数均为正值，总体呈增大趋势，表明长江经济带内低于全区域平均水平的省市占多数，且有增加趋势，这与标准差测度的绝对差异呈增大趋势的结论一致。碳排放与人均GDP（1997年不变价）的Pearson相关系数不显著，大致可以分为两个阶段：1998~2005年，呈明显的“倒U型”，2001年达到最大值为0.4276，而后快速减小；2005~2012年，先缓慢增加，2008年达到最大值为0.3243，而后快速减小，碳排放与人均GDP（1997年不变价）的相关性较弱，且有减弱趋势。

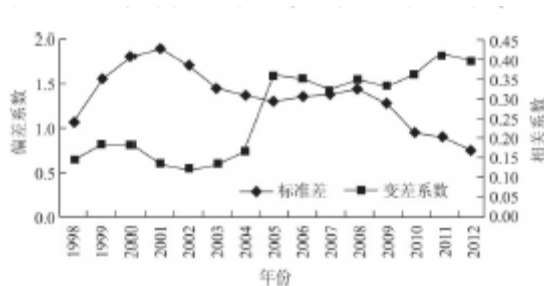


图2 1998~2012年长江经济带碳排放的偏度和相关性
Fig.2 Skewness and Correlation of Carbon Emissions
in Yangtze River Economic Belt During 1998—2012

3 碳排放空间格局及其演化

3.1 碳排放类型演化

将各省市碳排放量链接到GIS图形数据中,选择自然断点法,将1998、2005和2012年长江经济带中的各省市分为4类:低碳排放、中碳排放、高碳排放和超高碳排放,得到图3,1998年云南、重庆和江西为低碳排放类型,贵州、湖南、安徽、浙江和上海为中碳排放类型,四川、湖北为高碳排放类型,江苏为超高碳排放类型。与1998年相比,2005年云南由低碳排放转换成中碳排放,湖南和浙江由中碳排放转换成高碳排放,四川由高碳排放转换成中碳排放。与2005年相比,2012年四川和安徽由中碳排放转化成高碳排放,湖南由高碳排放转换成中碳排放。与1998年相比,2012年云南由低碳排放转化成中碳排放,安徽和浙江由中碳排放转化成高碳排放。经以上分析可知,较高碳排放区域以江苏为中心,逐渐向四周扩散。江苏一直属于超高碳排放类型,由于江苏是经济大省,产业结构偏重,经济发展对煤炭资源的依赖性较强,导致碳排放量较高。其他省市的碳排放类型虽有变化,但变化不大,都是在相邻类型之间进行转化,所以长江经济带各省市的碳排放空间格局相对稳定。

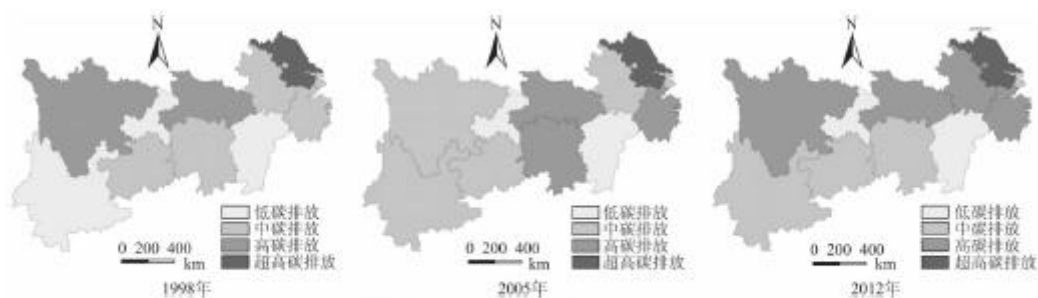


图3 长江经济带碳排放类型图
Fig.3 Carbon Emission Type Map in Yangtze River Economic Belt

3.2 碳排放趋势分析

为了揭示长江经济带的碳排放总体趋势,对长江经济带的碳排放进行了趋势分析得到图4,图中的每根竖线代表一个省市的碳排放量和位置,黑点是所有竖线在东西向和南北向正交平面上的投影点,将投影点拟合得到最佳曲线,它模拟了东西向和南北向上存在的总体趋势,X轴方向为东西向,Y轴方向为南北向,Z轴表示碳排放量的大小。1998年长江经济带的碳排放拟合曲线,在东西向上,自西向东呈直线增长,表现出明显的东高西低趋势,在南北方向上,北方明显高于南方,且相差较大,南北差距大于东西差距。2005年长江经济带的碳排放拟合曲线,在东西向上,自西向东呈曲线增加,东西差距仍然

较大,南北向上,南部和北部高于中部,北方仍高于南方,南北差距依然较大,与1998年相比,南北差距有缩小的趋势。2012年长江经济带的碳排放拟合曲线,在东西向上,自西向东呈增加趋势,与2005年相比,东西向差距减小,在南北向上,北部仍然高于南部。经以上分析可知,1998~2012年碳排放呈东高西低,北高南低的趋势,且东西向和南北向的差距均有缩小趋势。

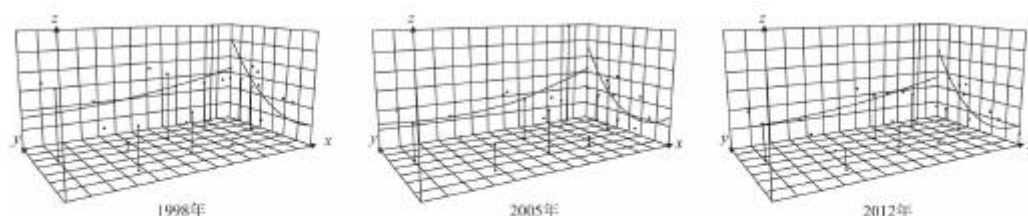


图4 长江经济带的碳排放趋势分析图

Fig.4 Trend Analysis of Carbon Emissions in Yangtze River Economic Belt



图5 1998~2012年长江经济带的碳排放重心转移图

Fig.5 Carbon Emission Geometric Center Shift in Yangtze River Economic Belt During 1998—2012

3.3 碳排放重心演化轨迹

为了进一步揭示长江经济带的碳排放重心演化趋势,以1998~2012年的碳排放为权重,计算1998~2012年长江经济带的碳排放重心,由图5可知,1998~2012年长江经济带的碳排放重心主要分布在湖北省的仙桃市、蔡甸区和汉川市,总体上位于 $113.1714^{\circ} \sim 113.9918^{\circ} \text{E}$ 、 $30.1885^{\circ} \sim 30.4849^{\circ} \text{N}$ 之间狭窄的东西条带上,表明碳排放空间格局演化以东西向为主。由重心移动轨迹可知,重心移动总体可分为两个阶段:第一阶段是1998~2001年,碳排放重心向东北移动;第二阶段是2001~2012年,碳排放重心向西南移动,主要由于2000年中国开始实施西部大开发战略,而长江经济带西部的云南、贵州、四川和重庆均属于西部大开发的范围,实施西部大开发战略促进经济发展的同时,势必增加碳排放。在1999年、2003年和2009年,碳排放重心移动幅度较大。1999年碳排放的重心位于 $113.631045^{\circ} \text{E}$ 、 $30.428363^{\circ} \text{N}$,向东移动了 41.7228 km ,向北移动了 24.7678 km ,是重心移动幅度最大的一年,主要是由于四川、贵州和湖南碳排放量的大幅度下降,导致1999年碳排放重心向东北方向移动幅度较大。2003年碳排放的重心位于 $113.429067^{\circ} \text{E}$ 、 $30.250647^{\circ} \text{N}$,向西移动了 37.0563 km ,向南移动了 18.1224 km ,主要由于2003年江苏、浙江、上海、安徽、湖南和湖北均出现了“非典”病例,长江经济带东部地区受“非典”影响较大,贵州、四川和云南的碳排放量大大幅度增加,而其它地区虽有增加但相对较小,导致了碳排放重心向西南移动距离较大。2009年碳排放重心位于 $113.373801^{\circ} \text{E}$ 、 $30.223794^{\circ} \text{N}$,向西移动了 21.8634 km ,向南移动了 5.4052 km ,受2008年

全球金融危机的影响，浙江、江苏和上海经济发展速度明显减慢，碳排放量增加较小，贵州、湖北、四川、云南、重庆和安徽碳排放增加幅度较大，导致碳排放重心向西南移动距离较大。

3. 4 碳排放空间格局演化的标准差椭圆分析

表 1 和图 6 展示了碳排放空间格局变化相对较大的年份，标准差椭圆的大部分位于长江经济带的中东部地区，四川和云南被覆盖的范围较小，碳排放标准差椭圆的中心主要在 $113.3016^{\circ} \sim 113.9111^{\circ} \text{E}$ 、 $30.1248^{\circ} \sim 30.3550^{\circ} \text{N}$ 之间移动，与碳排放重心的移动范围基本一致，从转角的变化看，其值大致在 $69.9577^{\circ} \sim 72.5256^{\circ}$ 之间变化，转角变动较小，碳排放空间格局相对稳定。1999 年标准差椭圆向东北方向移动明显，沿 X 轴和 Y 轴的标准差均减小，表明碳排放空间分布趋于集中，主要是由于四川、贵州和湖南碳排放量的大幅度下降；2004 年沿 Y 轴的标准差明显减少，表明沿 Y 轴的碳排放空间分布趋于集中，主要是由于浙江和江苏碳排放量大幅度升高，而云南碳排放量大幅度下降；2005 年沿 Y 轴的标准差增加了 35.4232 km ，表明沿 Y 轴的碳排放空间分布趋于分散，且转角转动相对较大，由 72.5256° 减少到 69.9577° ，主要是由于江苏和云南碳排放量大幅度升高，且江苏碳排放量的增加大于云南；2009 年沿 X 轴和 Y 轴的标准差均增加，表明碳排放空间分布趋于分散，且转角转动相对较大，主要是由于贵州、湖北、四川、云南、重庆和安徽碳排放增加幅度较大，其它省市变化不大；2011 年沿 Y 轴的标准差增加显著，表明沿 Y 轴的碳排放空间分布趋于分散，主要是由于湖北和江苏碳排放增加幅度较大；2012 年沿 Y 轴的标准差增加了 6.2722 km ，表明沿 Y 轴的碳排放空间分布趋于分散，主要是由于安徽和四川碳排放增加较大。

表 1 长江经济带碳排放空间分布格局的标准差椭圆参数
Tab.1 Parameters of Standard Deviatonal Ellipses of Carbon Emissions in Yangtze River Economic Belt

年份	中心坐标	沿 X 轴的标准差 (km)	沿 Y 轴的标准差 (km)	转角 θ ($^{\circ}$)
1998	$113.3016^{\circ}\text{E}, 30.1763^{\circ}\text{N}$	291.1175	927.4028	71.3835
1999	$113.7508^{\circ}\text{E}, 30.3550^{\circ}\text{N}$	283.3998	919.4082	72.0026
2004	$113.9111^{\circ}\text{E}, 30.2677^{\circ}\text{N}$	295.1335	902.0199	72.5256
2005	$113.7739^{\circ}\text{E}, 30.1248^{\circ}\text{N}$	294.0286	937.4431	69.9577
2009	$113.5116^{\circ}\text{E}, 30.1520^{\circ}\text{N}$	295.0866	944.7930	70.9627
2011	$113.6768^{\circ}\text{E}, 30.1854^{\circ}\text{N}$	293.4852	921.0545	70.1758
2012	$113.5749^{\circ}\text{E}, 30.2007^{\circ}\text{N}$	293.3080	927.3267	70.1498

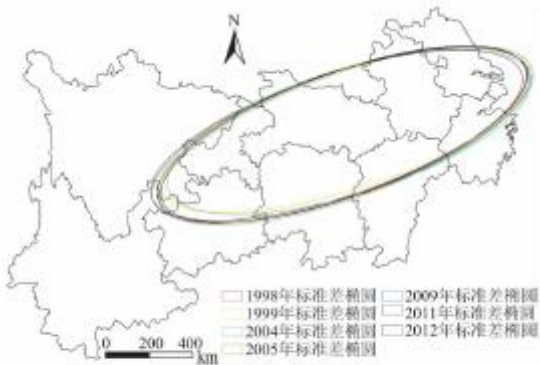


图 6 长江经济带的碳排放空间分布格局的离散趋势
Fig. 6 Changes of Discrete Trends of Spatial Pattern of Carbon Emission in Yangtze River Economic Belt

4 碳排放影响因素的空间面板分析

通过空间自相关性检验可知,碳排放的Moran's I 值为0.2950,且通过了1%水平的显著性检验,表明长江经济带各省市的碳排放存在显著的的空间自相关性,因此,在构造模型时,有必要纳入空间因素。利用LM 检验和稳健LM 检验判断哪个模型较合适,由表2可知,空间误差面板模型的LM 及稳健LM 检验均通过了1%水平的显著性检验,而空间滞后面板模型的LM 及稳健LM 检验均未通过1%水平的显著性检验,这表明采用空间误差面板模型较为合理,说明长江经济带内各省市间碳排放的空间相互作用不仅是其自身要素之间的相互作用冲击,更多的是本省市的整体特征对邻近省市碳排放的影响。各省市碳排放总量的控制不仅需要当地政府政策的干预,而且还需要相邻省市政策的配合,共同解决碳排放问题。空间Hausman 检验通过了1%水平的显著性检验,表明空间面板固定效应模型较为合适。由于空间时期固定效应模型的LogL 值最大,R² 值也最大,模型的拟合效果最优,因此,本文选择空间误差面板模型的空间时期固定效应模型解释影响长江经济带碳排放时空格局演化的主要因素。

表2 空间滞后面板模型和空间误差面板模型的统计检验
Tab.2 Statistical Test of SLPDM and SEPDM

变量	LM 值	P 值
LM test no spatial lag	6.348 6	0.011 7
robust LM test no spatial lag	0.467 7	0.494 1
LM test no spatial error	166.406 2	0.000 0
robust LM test no spatial error	160.525 2	0.000 0

由表3 中空间时期固定效应估计结果可知,所有影响因素的弹性系数均为正,除二三产业比重外,其他影响因素的弹性系数估计值均通过了5%水平的显著性检验,当其他条件保持不变时,年末总人口、人均GDP、碳排放强度和城镇化率每增加1%,将导致碳排放总量增加0.7888%、0.2865%、0.1645%和0.0712%。

表3 碳排放的空间误差面板模型估计结果
Tab.3 Estimation Results of SEPDM Carbon Emissions

变量	无固定效应	P 值	空间固定效应	P 值	时期固定效应	P 值	空间时期固定效应	P 值
C	-1.598 6	0.000 0						
IS	1.554 6	0.000 0	1.486 1	0.000 0	0.881 1	0.000 0	0.386 7	0.158 8
P	0.619 7	0.000 0	0.026 7	0.918 3	0.613 4	0.000 0	0.788 8	0.000 4
PGDP	0.213 0	0.002 8	0.751 7	0.000 0	0.381 3	0.000 0	0.286 5	0.001 0
CI	0.384 4	0.000 0	0.393 7	0.000 0	0.218 7	0.000 0	0.164 5	0.006 5
U	0.086 3	0.101 9	0.144 3	0.002 8	0.086 2	0.006 7	0.071 2	0.042 3
λ	0.088 0	0.346 7	-0.657 0	0.000 0	-0.978 9	0.000 0	-0.887 4	0.000 0
LogL	194.006 4		255.651 3		258.511 7		303.711 6	
R ²	0.762 8		0.854 3		0.803 7		0.891 7	

年末总人

口的弹性系数最大,表明适当控制人口是当地政府减少碳排放总量的有效途径。人口总量的增加不利于减少碳排放,虽然中国实施的计划生育政策取得了较好效果,有效地控制了人口增长速度,但由于人口基数大,人口的绝对增长仍较大,各省市应积极实施计划生育政策,控制人口总量,优化年龄结构,提高人口素质,增强环保意识。产业结构对碳排放的正向作用不明显,各省市应优化产业结构,发展低碳产业,淘汰高耗能、高污染、高排放的产业,减少重工业比例。人均GDP 的弹性系数为正,表明经济发展增加了碳排放,应优化经济发展方式,调整经济结构,走绿色发展和低碳发展之路,同时,经济的发展提高了消费水平,应引导人们的消费观念向绿色消费与可持续消费转变。碳排放强度对碳排放具有正向作用,表明技术水平的提高,有利于减少碳排放,应引进先进低碳技术,增加低碳技术研发投资,技术较发达的上海、浙江和江苏等地应向相对落后的西部地区输入先进低碳技术,帮助落后地区提高低碳技术水平,实现低碳发展,充分发挥先进技术的空间溢出效应,积极发展新能源技术,充分利用太阳能、水能和风能等,改善能源结构,提高能源利用效率。城镇化水平的弹性系数为正,表明提高城镇化水平会增加碳排放。随着城镇化水平的提高,人们的生活方式发生了改变,对基础设施和能源的需求增加,直接导致了碳排放的

增加;各种基础设施的建设和能源的开发,改变了土地利用方式,破坏了生态环境,造成了环境污染,导致陆地碳汇能力下降,间接导致了碳排放的增加。各省市应积极稳健地推动新型城镇化建设,保证城镇化质量,走低碳城镇化之路。

5 结论

采用传统数理分析方法和GIS技术相结合,以长江经济带的各省市为研究单元,以碳排放总量为测度指标,研究碳排放的时空格局演化特征,构造空间面板模型分析其主要影响因素,得出以下主要结论:

(1) 长江经济带各省市碳排放的绝对差异呈增大趋势,相对差异呈波动变化趋势;碳排放呈右偏态,表明长江经济带各省市的碳排放的平均水平之下的占多数;碳排放与人均GDP(1997年不变价)的Pearson相关系数较小且不显著,表明碳排放与人均GDP(1997年不变价)的相关性较弱,2008年后相关性呈明显的减弱趋势。

(2) 长江经济带碳排放的空间格局相对稳定,形成了以江苏为高碳排放中心,逐渐向四周扩散的空间格局,主要由于江苏省是经济大省,产业结构偏重,经济发展对煤炭资源的依赖性较强,碳排放量较高;碳排放的空间分布上呈明显的东高西低、北高南低的地域性特征;1998~2012年碳排放的重心主要位于湖北省的仙桃市、蔡甸区和汉川市,以东西向移动为主;碳排放标准差椭圆的中心主要在 $113.301^{\circ}6'$ ~ $113.911^{\circ}1'$ E、 $30.124^{\circ}8'$ ~ $30.355^{\circ}0'$ N之间移动,与碳排放重心移动范围基本一致,转角的变化较小。

(3) 空间面板模型估计结果表明,人口总量、经济水平、技术水平和城市化水平的弹性系数均为正且通过了5%水平的显著性检验,在其他条件保持不变时,人口总量、经济水平、技术水平和城市化水平每增加1%,将引起碳排放增加0.788%、0.286%、0.164%和0.071%,是影响碳排放时空格局演化的重要因素。

[参考文献]:

[1] LUCIANO C D F, SHINJI K. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil [J]. Ecological Economics, 2011, 70: 1459-1469.

[2] ZHANG X P, CHENG X M. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in China [J]. Ecological Economics. 2009, 68 (10): 2706-2712.

[3] 武红,谷树忠,关兴良,等.中国化石能源消费碳排放与经济增长关系研究[J].自然资源学报,2013,28(3):381-390.

[4] 李楠,邵凯,王前进.中国人口结构对碳排放量影响研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(6):19-23.

[5] 彭佳雯,黄贤金,钟太洋,等.中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J].资源科学,2011,33(4):626-633.

[6] 赵贺春,高诚.中国CO₂排放影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(11):1-4.

-
- [7] 孙 欣, 张可蒙. 中国碳排放强度影响因素实证分析 [J]. 统计研究, 2014, 31(2): 61-67.
- [8] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量 [J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1418-1431.
- [9] 李建豹, 曲建升, 张志强. 西北地区家庭生活碳排放特征及其影响因素研究 [J]. 干旱区地理, 2014, 37(4): 759-766.
- [10] 曲建升, 张志强, 曾静静, 等. 西北地区居民生活碳排放结构及其影响因素 [J]. 科学通报, 2013, 58(3): 260-266.
- [11] 傅京燕, 裴前丽. 对外贸易对碳排放量的影响及其驱动因素: 以广东省为例 [J]. 国际经贸探索, 2011, 27(10): 12-18.
- [12] 黄 蕊, 王 铮. 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, 2013, 33(2): 602-608.
- [13] 余建清, 吕拉昌. 化石燃料碳排放的地域差异 [J]. 经济地理, 2012, 32(7): 100-106.
- [14] 杜运伟, 黄涛珍. 江苏省人口规模、结构对碳排放的影响分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(4): 399-404.
- [15] 陈 煜, 孙 慧. 天山北坡经济带碳排放空间差异及生态补偿研究 [J]. 地域研究与开发, 2014, 33(4): 136-141.
- [16] 龚惠萍, 管 璇, 刘晨明. 武汉市工业经济增长与碳排放脱钩关系的实证分析 [J]. 统计与决策, 2013, 21: 105-108.
- [17] 燕 华, 郭运功, 林逢春. 基于STIRPAT模型分析CO₂控制下上海城市发展模式 [J]. 地理学报, 2010, 65(8): 983-990.
- [18] 谢守红, 邵珠龙. 无锡工业碳排放强度的变化及动因分析 [J]. 城市问题, 2012, (11): 56-60.
- [19] 于涛方, 甄 峰, 吴 泓. 长江经济带区域结构: “核心—边缘”视角 [J]. 城市规划学刊, 2007, (3): 41-48.
- [20] IPCC. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories [R] // EGGLESTON H S, BUENDIA L, MIWA K et al. Japan: IGES, 2006.
- [21] TOBLER W R. A computer movie simulating urban growth in Detroit Region [J]. Economic Geography, 1970, 46: 234-

[22] ANSELIN L, HUDAK S. Spatial econometrics in practice: A review of software options [J]. regional science and urbaneconomics, 1992, 22 (3): 509–536.

[23] ELHORST J P. Matlab software for spatial panels [J]. international regional science review, 2012. doi: 10.1177/0160017612452429.