

西安市工业碳排放的空间分异特征与驱动因子

栗新巧, 张艳芳

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 采用西安市 1997—2011 年工业能耗数据和 2010 年各区县单位 GDP 能耗数据进行了碳排放量的估算, 通过 STIRPAT 模型构建驱动因子分析模型。研究表明: (1) 西安市 1997—2011 年各类碳排放量表现出总体上升的特征。(2) 各区县碳排放量、碳排放产值、人均碳排放量、地均碳排放量呈现出明显的空间分异现象。Moran 指数显示, 西安市各区县碳排放量存在显著地空间正相关性。碳排放量的空间分布特征是: 碳排放量较高的区县趋向于和碳排放量较高的区县集聚, 碳排放量较低的区县趋向于和碳排放量较低的区县集聚。(3) STIRPAT 模型表明: 经济发展、人口规模、产业结构和技术水平对碳排放量影响程度不同, 其中经济发展对碳排放量增加具有决定作用, 产业结构优化对碳排放量增加具有抑制作用。

关键词: 碳排放; 空间分异; Moran 指数; STIRPAT 模型; 西安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0226-06

中图分类号: F123.2

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.048

Space Differentiation Characteristics and Driving Factors of Industrial Carbon Emissions in Xi'an City

LI Xin-qiao, ZHANG Yan-fang

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Applying the data of industrial energy consumption from 1997 to 2011, the data of energy consumption per unit of GDP in districts or counties of Xi'an City in 2010 were estimated, and the model to analyze the carbon emissions driving factors was built by using STIRPAT model. The results show that all kinds of carbon emissions presented generally, an increasing trend during 1997—2011. Carbon emissions, carbon emissions output and per capita carbon emissions and carbon emissions per unit area of land presented significant regional differences in each district or county. Moran index showed that the spatial correlation of carbon emissions in each district or county was positive correlation, and the spatial distribution feature of carbon emissions was that: the district or county with higher carbon emissions tended to aggregate to the one's of the higher, the district or county of lower carbon emissions tended to aggregate to the one's of the lower. The STIRPAT model showed that: the influence degree of economic development, population scale, industrial structure and technical level on carbon emissions was different. Moreover, economic development played the decisive role on increasing carbon emissions, but the industrial structure optimization had inhibitory effect on the increasing of carbon emissions.

Keywords: carbon emission; spatial differentiation; Moran index; STIRPAT model; Xi'an City

工业作为能源密集型产业之一, 工业碳排放带来的全球环境问题引起各国的极大关注。中国的工业能源消费在能源总消费中占有绝大部分比重, 1995—2008 年比重在 70% 左右。中国经济增长的能源消费

状况决定了工业部门增长是碳排放压力的主要来源。国内外学者已对工业产业碳排放展开深入研究, Hammond 等^[1]对英国制造业能源碳排放的研究认为英国制造业能源碳排放下降的主要原因是能源强

收稿日期: 2013-09-30

修回日期: 2013-11-14

资助项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目“区域土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究: 以西安市为例”(10XJ1A790011); 陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项“西安城市空间增长下碳足迹时空变化与优化模拟研究”(GK201302031); 国家自然科学基金项目“我国生态脆弱区能源开发生态效应测评与调控研究”(41371523)

作者简介: 栗新巧(1986—), 女(汉族), 河北省邯郸市人, 硕士, 研究方向为水土资源评价与规划研究。E-mail: 06xinqiao@163.com。

通信作者: 张艳芳(1969—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 博士, 副教授, 主要从事水土资源评价、生态安全与 GIS 研究。E-mail: zhangyf@snnu.edu.cn。

度的降低;Emad Benhelal 等^[2]对水泥行业控制 CO₂ 排放的研究中提出节能、碳分离和储存以及使用替代材料等 3 种减少 CO₂ 排放的策略;李健等^[3]运用灰色关联法对中国的碳排放强度与产业结构的研究表明,第二产业是影响地区碳排放强度的主要因素;孙建卫等^[4]采用 1995—2005 年中国各行业的相关统计数据对中国碳排放进行核算与因素分解分析;郭彩霞等^[5]采用 LMDI 法对天津工业能源消费碳排放的核算与分解分析认为工业经济规模是碳排放持续增加的主导因素。纵观国内外研究^[6-15]发现国内碳排放研究集中在宏观和中观尺度。

西安市作为西北地区经济发展较快的城市,工业化和城市化发展水平较高。2010 年全年实现生产总值 3 241.49 亿元,比 2009 年增长 14.5%。第二产业增加值 1 409.53 亿元,增长 18.0%;第三产业增加值 1 691.90 亿元,增长 12.5%。选用 1997—2011 年西安市的工业能耗数据和 2010 年各区县单位 GDP 能耗数据进行碳排放量的估算,运用 STIRPAT 模型构建驱动因子分析模型,研究西安市工业碳排放量、碳排放产值的变化特征及其区域分异的空间格局与驱动因子,对西安市的产业结构优化,促进低碳经济发展提供理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

研究数据来源于《西安统计年鉴》(1998—2012)。包括西安市 1997—2011 年工业能源消耗数据,GDP 数据、人口数据以及 2010 年的各区县单位 GDP 能耗数据、各区县土地面积数据、各区县 GDP 数据和各区县人口数据。其中,能源数据包括原煤、洗精煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等 9 类数据。各类能源的折标系数来自于《中国能源统计年鉴》。

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放量核算方法 采用能源消费量估算碳排放量。首先将各类能源消耗乘以折标系数转换成标准煤耗,然后乘以各自能耗的碳排放系数,最后得到每类能源的碳排放量。能源数据选用原煤、洗精煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等 9 类。具体计算公式如下:

$$C_f = \sum_i^9 E_i \times \eta_i \times F_i \quad (i=1,2,\dots,9) \quad (1)$$

式中: C_f ——能源消耗碳排放总量; E_i ——第 i 类能源的消耗量; η_i ——第 i 类能源的折标系数; F_i ——第 i 类能源的碳排放系数。各类能源的折标系数和碳排放系数^[16]如表 1 所示。

表 1 折标系数和碳排放系数

能源种类	原煤	洗精煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
折标系数	0.741 3	0.900 0	0.971 4	1.428 6	1.471 4	1.471 4	1.457 1	1.428 6	1.330 0
碳排放系数	0.755 9	0.755 9	0.855 0	0.585 7	0.553 8	0.571 4	0.592 1	0.618 5	0.448 3

1.2.2 空间自相关分析模型

(1) 空间权重矩阵的确定。空间权重的确定采取邻接规则来定义一个二元对称的空间权重矩阵 W_{ij} ,以表达某几个位置空间区域的邻接关系^[17]。空间权重矩阵 $W_{ij}=1$,表示区域 i 区域 j 邻接,否则 $W_{ij}=0$ 。

(2) 全局空间自相关指标。全局空间自相关分析主要研究属性数据值在整个区域的空间分布特征,通过 Moran 指数 I 的统计量值,分析该区域的总体空间分布特征^[17]。其公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

$$[S^2 = \frac{1}{n} \sum_j (x_i - \bar{x})^2, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i]$$

式中: I ——Moran 指数; x_i ——区域 i 处的属性值; \bar{x} —— x_i 的算术平均值; W_{ij} ——区域的空间权重值。

Moran 指数 I 的取值范围在 $-1 \sim 1$ 之间。 $I < 0$

表示负相关,代表该区域与其周边区域碳排放量有显著的空间差异; I 值越接近 -1 ,该区域与周边区域的总体空间差异越大; $I=0$ 表示空间不相关; $I > 0$ 表示正相关,代表碳排放量高(或低)的区域在空间上存在显著的聚集; I 值越接近 1 ,该区域与周边区域的总体空间差异越小。

(3) Moran 指数散点图。Moran 散点图可以更直观地反映区域内部的空间聚集类型,该散点图分为 4 个象限,可以具体区分该区域与邻近区域具体属于高一高,低—低,高一低,低—高中的某一种空间集聚形式。

1.2.3 碳排放驱动因子模型 选用 York 等^[18-19]提出的 STIRPAT 多变量非线性随机回归模型。该模型是用来分析人口、富裕度和技术与环境影响之间关系的模型。具体表现形式如下:

$$I = aP^bA^cT^d e \quad (3)$$

式中: I, P, A, T ——环境压力、人口、富裕度和技术;

a ——模型常数项; b, c 和 d ——人口、富裕度和技术等因素的弹性指数; e ——模型误差项。当 $a=b=c=d=e=1$ 时, STRIPAT 模型还原成了 IPAT 模型。根据 STIRPAT 模型可得到碳排放与影响因子的关系模型, 具体模型如下:

$$Q = KP^a I^b T^c D^d \quad (4)$$

式中: Q ——碳排放量(10^4 t); K ——常数; P ——人口规模(万人); I ——产业结构, 以第二产业所占经济比例表示; T ——技术水平, 以单位产值碳排放表示; D ——经济发展, 以人均 GDP 表示。

为了分析每个驱动因子的影响程度, 对公式(4)进行对数化处理, 处理后的形式如下:

$$\ln I = \ln K + a \ln P + b \ln I + c \ln T + d \ln D \quad (5)$$

式中: a, b, c, d ——弹性系数, P, I, T, D 每变化 1%, 相应的碳排放量变化为 $a\%, b\%, c\%, d\%$ 。

2 结果与分析

2.1 西安市工业碳排放的总体特征

根据公式(1)计算得到西安市碳排放量(图 1), 从总量来看, 西安市 1997—2011 年的碳排放总量呈

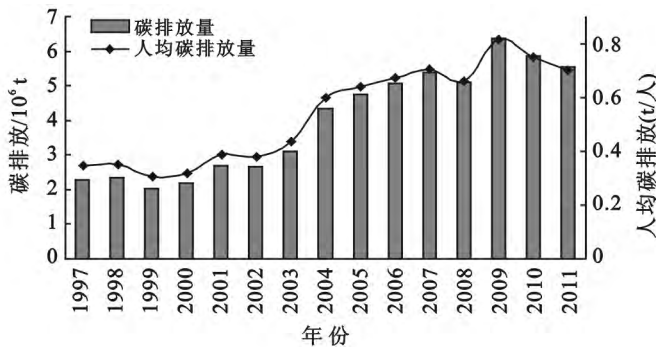


图 1 1997—2011 年西安市工业碳排放总体变化

波动增加的趋势, 从 1997 年的 2.29×10^6 t 增加到 2011 年的 5.54×10^6 t, 增加了 3.25×10^6 t。从人均碳排放量看, 1997—2011 年西安市的人均碳排放量也呈现出波动增加的趋势, 与总碳排放量趋势相似。人均碳排放量从 1997 年的 0.35 t/人, 增加到 2011 年的 0.70 t/人, 增长了 2 倍, 年均增长率为 5%。

从碳排放产值来看(图 2), 碳排放总产值以及各类产业产值都呈现增加的趋势, 总碳排放产值从 1997 年的 2.14 万元/t, 增加到 2011 年的 6.97 万元/t, 增加了 4.83 万元/t, 年均增长率为 8%。第一产业碳产值从 1997 年的 0.22 万元/t 增加到 2011 年的 0.31 万元/t, 第二产业碳产值从 1997 年的 0.86 万元/t 增加到 2011 年的 3.02 万元/t, 增加了 3.5 倍。第二产业中, 工业碳排放产值占第二产业产值的 71.05%(2011 年), 第三产业产值从 1997 年的 1.05 万元/t 增加到 2011 年的 3.64 万元/t, 增加了 3.5 倍, 年均增长率为 9%。

2.2 西安市工业碳排放的区域差异

运用西安市各区县单位 GDP 数据进行碳排放量折算, 将西安市总碳排放量按能源消耗比例展现在各

波动增加的趋势, 从 1997 年的 2.29×10^6 t 增加到 2011 年的 5.54×10^6 t, 增加了 3.25×10^6 t。从人均碳排放量看, 1997—2011 年西安市的人均碳排放量也呈现出波动增加的趋势, 与总碳排放量趋势相似。人均碳排放量从 1997 年的 0.35 t/人, 增加到 2011 年的 0.70 t/人, 增长了 2 倍, 年均增长率为 5%。

从能源消费结构碳排放量来看(图 1), 煤炭能源碳排放量最大, 碳排放量从 1997 年的 2.08×10^6 t, 增加到 2011 年的 4.11×10^6 t(占总碳排放量的 70.12%), 增加了 2.03×10^6 t, 煤炭能源碳排放量在总能源碳排放量中占了主导地位。石油碳排放量次之, 碳排放量从 1997 年的 2.09×10^5 t 增加到 2011 年的 1.36×10^6 t, 呈现出增加的趋势。天然气碳排放量最低, 但呈现出增加的趋势。2011 年碳排放量增加到 7.22×10^4 t。西安市能源消费结构以煤炭为主, 煤炭消耗占了绝对比重, 1997—2011 年煤炭能源消费比重在总能源消费中的比重始终保持在 61% 以上。2010 年煤炭能源消费比重占总能源消费比重的 66.90%, 区域间煤炭能源总体上分配比例也较大。天然气等清洁能源的比重较小, 能源结构处于待优化状态。

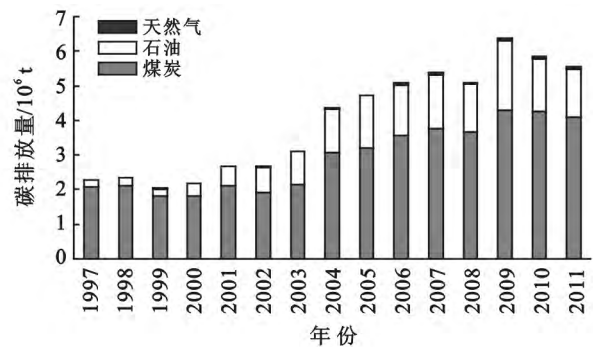


图 2 1997—2011 年西安市各产业碳排放产值

区县, 算出各区县碳排放量、碳排放产值、人均碳排放量以及地均碳排放量。附图 6 中显示, 西安市不同区县的碳排放量、碳排放产值、人均碳排放量及地均碳排放量呈现出明显的区域分异现象。

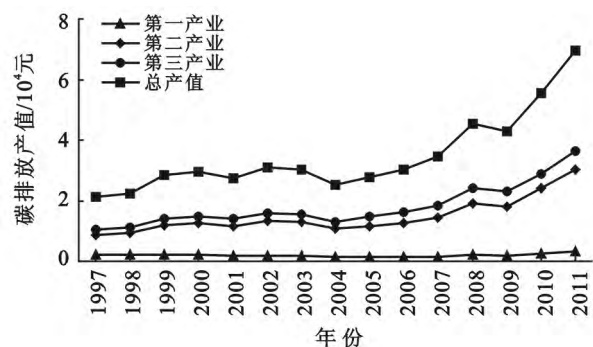


图 2 1997—2011 年西安市各产业碳排放产值

(1) 从碳排放总量来看(附图 6), 各区县碳排放量的大小为: 雁塔区 > 未央区 > 莲湖区 > 长安区 > 新城区 > 碑林区 > 灞桥区 > 户县 > 临潼区 > 蓝田县 > 高陵县 > 周至县 > 阎良区。雁塔区、未央区、莲湖区、长安区的碳排放量较大, 碳排放量分别为: 9.72×10^5 , 8.19×10^5 , 6.12×10^5 , 5.18×10^5 t, 占总碳排放量分别达到 16.57%, 13.97%, 10.44%, 8.84%。主要原因在于这几个区县的第二产业发展较快, 第二产业中的工业规模较大, 工业经济发展较快, 工业总产值较高。2010 年雁塔区、未央区、莲湖区、长安区的工业总产值分别为: 105.156.63, 126.29, 110.92 亿元, 工业经济的发展对能源的依赖性较大。同时雁塔区、未央区、莲湖区、长安区的重工业分布相对集中, 高耗能工业门类较多。如雁塔区高耗能的化学原料及化学制品制造业和非金属矿物制造业、未央区的石油加工炼焦及核燃料制品业等, 这些工业产业在带来经济产值增加的同时也在向城市排放出大量的二氧化碳。新城区、碑林区、灞桥区、户县、临潼区、蓝田县、高陵县的碳排放量次之, 碳排放量分别为: 5.11×10^5 , 4.87×10^5 , 4.19×10^5 , 4.19×10^5 , 2.69×10^5 , 2.58×10^5 , 2.53×10^5 t。周至县和阎良区的碳排放量较低, 分别为 1.78×10^5 和 1.55×10^5 t, 占总碳排放量分别是 3.04% 和 2.64%, 主要原因在于这几个区县第二产业相对较弱, 工业规模较小, 工业总产值较低, 2010 年周至和阎良县的工业总产值仅为 13.42 和 48.82 亿元, 能源消耗量相对较少, 同时高耗能工业门类较少, 阎良属于高新技术产业, 技术含量高, 污染性小, 周至的绿色产业发展较快, 比如猕猴桃产业, 对能源消耗较低。

(2) 从碳排放产值来看(附图 6), 碑林区 > 阎良区 > 新城区 > 雁塔区 > 莲湖区 > 高陵县 > 临潼区 > 长安区 > 未央区 > 灞桥区 > 周至县 > 蓝田县 > 户县。碑林区、阎良区、新城区、雁塔区、莲湖区的碳排放产值较高, 分别为 7.36, 6.48, 6.38, 6.18, 6.16 万元/t。可以看出这几个区的单位碳排放量带来的 GDP 值较高, 工业经济的发展对能源消耗依赖性较大。高陵县、临潼区、长安区、未央区、灞桥区的碳排放产值相对以上几区较低, 分别 5.90, 5.60, 5.27, 4.93, 4.08 万元/t, 周至、蓝田、户县的碳排放产值较低, 分别为 2.99, 2.72, 2.56 万元/t, 这几个区县的单位碳排放量带来的 GDP 较低, 相对来说工业经济的发展对能源消耗较低。

(3) 从人均碳排放量来看(附图 6), 未央区 > 雁塔区 > 新城区 > 莲湖区 > 高陵县 > 灞桥区 > 户县 > 碑林区 > 阎良区 > 长安区 > 蓝田县 > 临潼区 > 周至

县。未央区、雁塔区、新城区的人均碳排放较高, 分别为 1.58, 1.22, 1.01 t/人。主要原因在于这几个区县的消费水平相对较高, 消费模式和消费规模导致的能源消耗量较大。莲湖区、高陵县、灞桥区、户县、碑林区、阎良区、长安区的人均碳排放次之, 分别为 0.96, 0.86, 0.82, 0.69, 0.67, 0.61, 0.53 t/人。蓝田县、临潼区、周至的人均碳排放量较低, 分别为 0.40, 0.39, 0.27 t/人, 相对来说, 这几个区县的消费模式和消费规模导致的能源消耗较低, 人均碳排放量也相对较低。

(4) 从地均碳排放量来看(附图 6), 碑林区 > 新城区 > 莲湖区 > 雁塔区 > 未央区 > 灞桥区 > 高陵县 > 阎良区 > 临潼区 > 长安区 > 户县 > 蓝田县 > 周至县。碑林区、新城区、莲湖区的地均碳排放量较大, 分别为 2.03, 1.70, 1.42 t/hm², 可以看出这几个区县的单位面积土地带来的能源消耗量较大, 单位面积土地碳排放量较高。雁塔区、未央区、灞桥区、高陵县、阎良区、临潼区、长安区的地均碳排放量次之, 分别为 0.65, 0.31, 0.13, 0.09, 0.06, 0.05 和 0.04 t/hm²。户县、蓝田县、周至县的地均碳排放量较低, 分别为 0.03, 0.02, 0.01 t/hm², 这几个区县的单位面积土地能源消耗相对较低, 碳排放量较低。

2.3 西安市工业碳排放的空间分布特征

根据西安市各区县的碳排放总量情况, 基于西安市地理空间分布 shapefile 格式数据, 运用 Geoda 软件对西安市碳排放量数据进行全局空间自相关分析, 表明西安市各区县碳排放量存在较大的空间正相关性, 碳排放量分布并非完全随机性, 大部分区县碳排放量点数据分布于第 I 象限和第 III 象限。碳排放量的空间分布特征是: 碳排放量较高的区县趋向于和碳排放量较高的区县集聚, 碳排放量较低的区县趋向于和碳排放量较低的区县集聚。

第 I 象限的区县包括雁塔区、未央区、莲湖区、长安区、新城区和碑林区, 这个象限的点数据属于高一高集聚类型。这几个区县的第二产业比重较大, 产业增加值增速较快, 产业结构比例较高。雁塔区 2010 年第二产业增速为 16.1%, 而第一产业增速 -4.6%, 第三产业增速为 13.4%, 未央区 2010 年全区三次产业结构比例为 0.6:54.2:45.2, 第二产业结构比例较大; 工业内部的中、高碳行业较多, 如雁塔区高耗能的化学原料及化学制品制造业和非金属矿物制造业, 未央区的石油加工炼焦及核燃料制品业。此外, 非金属矿物制品业、交通运输设备制造业、机电及器材制造业等也在这些区县规模分布; 工业经济发展较快, 能源消耗较高, 未央区 2010 年, 全年实现规模

以上工业总产值 496.00 亿元,比上年增长 24.9%,全区工业实现增加值 156.63 亿元,增长 15.0%,其中规模以上工业增加值 139.73 亿元,增长 15.8%。雁塔区 2010 年,全区规模以上工业总产值 294.71 亿元,同比上升 22.9%(按现价计算),全区完成工业增加值 105.63 亿元,同比增长 15.1%。其中,规模以上工业企业增加值全年实现 82.25 亿元,同比增长 17.1%。同时产业活动集聚发展,促使碳排放呈现出高一高集聚分布。

第Ⅲ象限的区县包括高陵县、蓝田县、阎良区、周至县和临潼区,这个象限的点数据属于低—低集聚类型。这几个区县属于工业规模和工业经济规模相对较小的区域,工业内部行业大部分为相对的低碳行业,例如烟草加工业,通信设备、计算机制造业,纺织服装、鞋帽制造业等,相对能源消耗较小,工业产值相对较低;阎良区 2010 年全年工业总产值 179.2 亿元,比未央区少 316.8 亿元,比雁塔区少 115.51 亿元,规模以上工业企业总数 56 家,工业增加值 36.16 亿元,增长 21.2%。聚集产业属于相对低污染产业,如阎良区属于高新技术产业,周至县的绿色产业(猕猴桃产业)发展较快,所以这几个区县碳排放呈现出低—低集聚分布。

第Ⅱ象限的区县有灞桥区和户县,属于低—高集聚类型。即碳排放量较低的区县与碳排放量较高的区县相邻,这两个区县的工业低碳行业与高碳行业相间分布。第Ⅳ象限无区县分布。所以,西安市碳排放的总体空间分布格局为高一高集聚与低—低集聚的空间特征。

2.4 西安市工业碳排放的驱动因子分析

将碳排放作为因变量,人口、产业结构、技术水平、人均 GDP 作为自变量,运用 STIRPAT 多变量非线性模型进行驱动因子分析。借助于 SPSS 19.0 回归拟合。为了减小误差,采用岭回归拟合分析,得到模型的拟合结果为:

$$Q = -374.516 3P^{2.1410} I^{-20.3933} T^{19.9691} D^{37.4931} \quad (6)$$

决定系数: $R^2 = 0.921$, 复相关系数: $R = 0.960$, $F = 29.165$, $\text{sig} = 0.000$, 模型的效果显著。

从公式(6)中可以看出各个因子的弹性系数贡献。人口的弹性系数为 2.141,说明人口每增加 1%,相应的碳排放量将增加 2.141%,产业结构的弹性系数为 -20.393,说明产业结构优化降低 1%时,相应的碳排放量将增加 20.393%。技术水平的弹性系数为 19.969,说明技术水平提高 1%时,碳排放将降低 19.969。人均 GDP 的弹性系数为 37.4931,说明人均 GDP 每增加 1%,相应的碳排放量将增加

37.493%。STIRPAT 模型表明:经济发展、人口规模、产业结构和技术水平对碳排放量影响程度不同,其中经济发展对碳排放量增加具有决定作用,产业结构优化对碳排放量增加具有抑制作用。

经济增长是碳排放量增加的决定性因素。西安市 2011 年的 GDP 为 3 862.58 亿元,是 1997 年的 7.9 倍数,人均 GDP 增加了 5.13 倍,该时期能源消费碳排放量大增,碳排放量是 1997 年的 2.42 倍。能源消费是维持经济运行的基础,它成为碳排放的直接来源。因此随着经济的快速增长,能源碳排放量也随之大增,两者有较高的相关性。技术水平是影响碳排放的重要因子。技术水平进步可以提高能源利用效率,降低能源碳排放强度,从而减少碳排放量。

产业结构优化对碳排放增加具有抑制作用。以工业为主导的第二产业是碳排放增加的主要因素,第二产业规模扩大将导致碳排放大幅度上升,但产业结构优化调整,如扩大第三产业的比重,适当降低第二产业的比重,适当淘汰高耗能、高污染行业发展等,可以从很大程度上抑制碳排放量的增加。

人口规模的扩大会导致总碳排放量的增加。西安市 2011 年人口增加到 791.83 万人,是 1997 年的 1.20 倍,人口增加了 129.77 万人。人口数量的绝对增加相伴的是人口城市化水平的提高,居民消费模式的改变以及消费规模的扩大等,这意味着需要更多的基础设施以满足于住房需求和交通需求等,需要消耗更多的能源满足于电力供应、工业发展、交通设施建设等,最终导致总碳排放量的增加。

技术水平提高可以提高能源利用效率,间接影响碳排放量。1997—2011 年西安市单位产值碳排放从 0.47 t/万元下降到 0.147 t/万元,说明技术水平有一定的进步。但目前的技术水平很难抵消碳排放量不断增加的趋势。

3 结论

(1) 西安市 1997—2011 年各类碳排放量表现出增加的总体特征。碳排放总量从 1997 年的 2.29×10^6 t 增加到 2011 年的 5.54×10^6 t;人均碳排放量从 1997 年的 0.35 t/人,增加到 2011 年的 0.70 t/人;能源消费结构碳排放中,煤炭能源碳排放量最大,2011 年煤炭碳排放总量 4.11×10^6 t(占总碳排放量的 70.12%);随着工业经济的发展,工业碳排放产值越来越高,碳排放产值占第二产业产值的 71.05%(2011 年)。

(2) 各区县碳排放量、碳排放产值、人均碳排放、地均碳排放呈现出明显的空间分异现象。Moran 指数显示,西安市各区县碳排放量存在显著地空间正相

关性,碳排放量的空间分布特征是:碳排放量较高的区县趋向于和碳排放量较高的区县集聚,碳排放量较低的区县趋向于和碳排放量较低的区县集聚。

(3) STIRPAT 模型表明:经济发展、人口规模、产业结构和技术水平对碳排放量影响程度不同,其中经济发展对碳排放量增加具有决定作用,产业结构优化对碳排放量增加具有抑制作用。

西安市产业结构以第二产业为主,第二产业在产业结构中所占比重较高。应适当降低第二产业规模,扩大第三产业在产业结构中的比重,同时优化工业内部结构,合理调整轻重工业的比例,适当地淘汰高耗能工业门类。调整能源利用结构,提高能源利用效率。西安市能源结构以煤炭为主,煤炭在总能源消耗中始终占有绝对地位。应适当调整能源利用结构,扩大天然气等清洁能源在总能源消耗中的比重,同时改善技术水平,提高能源利用的效率。加强政府政策导向,完善经济体制。政府应根据工业行业现状或特点,制定区域性减排法律法规,提倡减排工程,引导企业或团体向低碳社会建设发展。加强国际合作和区域合作,共同研发新的能源技术。西安市应同国内其他城市以及国际社会共同合作,研发新的技术,制定区域减排策略。

[参 考 文 献]

- [1] Hammond G P, Norman J B. Decomposition analysis of energy-related carbon emissions from UK Manufacturing[J]. *Energy*, 2012,41(1):220-227.
- [2] Benhelal E, Zahedi G, Shamsaei E, et al. Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013,51(7):142-161.
- [3] 李健,周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012,22(1):7-14.
- [4] 孙建卫,赵荣钦,黄贤金,等. 1995—2005年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.
- [5] 郭彩霞,邵超峰,鞠美庭. 天津市工业能源消费碳排放量核算及影响因素分解[J]. *环境科学研究*, 2012,25(2):232-239.
- [6] Jan Deja, Alicja Uliasz-Bochenczyk, Eugeniusz Mokrzycki. CO₂ emissions from Polish cement industry [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2010,4(4):583-588.
- [7] Martin K, Enevoldsen, Anders V. Decoupling of industrial energy consumption and CO₂ emissions in energy intensive industries in Scandinavia[J]. *Energy Economics*, 2007,29(4):665-692.
- [8] Tang Decai, Song Ping, Zhong Fengxia, et al. Research on evaluation index system of low-carbon manufacturing industry[J]. *Energy Procedia*, 2012(16):541-546.
- [9] Zhang Fuwei, Guo Ying, Chen Xiaoping. Research on China's power sector carbon emissions trading, mechanism[J]. *Energy Procedia*, 2011(12):127-132.
- [10] Tian Lixin, Jin Rulei. Theoretical exploration of carbon emissions dynamic evolutionary system and evolutionary scenario analysis[J]. *Energy*, 2012,40(1):376-386.
- [11] 贾君君,张艳芳. 陕西产业碳排放与结构高级化的低碳效应[J]. *陕西师范大学学报:自然科学版*, 2012,40(4):83-88.
- [12] 刘竹,耿涌,薛冰,等. 城市能源消费碳排放核算方法[J]. *资源科学*, 2011,33(7):1325-1330.
- [13] 刘定惠,杨永春. 甘肃省碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. *干旱区研究*, 2012,29(3):510-516.
- [14] 张丽峰. 我国产业结构、能源结构和碳排放关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011,25(5):1-7.
- [15] 王海皞,张荣荣,毕军. 中国城市碳排放核算研究:以无锡市为例[J]. *中国环境科学*, 2011,31(6):1029-1038.
- [16] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume II [EB/OL]. Japan: the Institute for Global Environmental Strategies[2008-07-20]. [http // www. ipcc. ch/ipcc-reports/Methodology-reports. htm](http://www.ipcc.ch/ipcc-reports/Methodology-reports.htm).
- [17] 万鲁河,王绍巍,陈晓. 基于 GeoDA 的哈大齐工业走廊 GDP 空间关联性[J]. *地理研究*, 2011,30(6):977-984.
- [18] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and IMPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. *Ecological Economics*, 2003,46(3):351-365.
- [19] 张乐勤,陈素平,王文琴. 基于 STIRPAT 模型的安徽省池州市建设用地扩展驱动因子测度[J]. *地理科学进展*, 2012,31(9):1235-1242.