

doi:10.3969/j.issn.1674-117X.2012.01.003

长沙市碳排放与影响因素的拟合变动分析

赵先超^{1,2}, 丁梦¹, 杨英¹

(1. 湖南工业大学 长株潭两型社会研究院, 湖南 株洲 412007;

2. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

[摘要] 科学认识城市碳排放的影响因素及其存在的相关性,再有效制定碳减排对策的重要基础。利用相关系数法定量测定了长沙市碳排放与其影响因素之间的相关性关系,并利用岭回归分析方法对城市碳排放与其影响因素进行了定量变动分析。研究结果表明:在城市化快速推进的背景下,长沙市碳排放的影响因素按其对模型的解释能力依次是总人口(0.750 4)、单位GDP能耗(0.371 9)、城市化率(0.272 0)以及城市居民人均消费支出(0.145 2)。

[关键词] 碳排放;影响因素;岭回归分析;长沙市

[中图分类号] TV98;X321

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-117X(2012)01-0015-06

Fitting Variation Analysis of Carbon Emissions and Influencing Factors in Changsha City

ZHAO Xianchao^{1,2}, DING Meng¹, YANG Ying¹

(1. Institute of "Two-Oriented Society" of CZT, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412007, China;

2. School of Resource and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: The important basis for effectively making carbon abatement measures is to scientifically understand the affecting factors of city carbon emissions and its existed response. The correlation coefficient method to quantitatively measure the relationship between Changsha carbon emissions and its influence factors, as well as the ridge regression to analyze the quantitative change of Changsha carbon emissions and their influence factors are respectively used. The results shows that the influencing factors of Changsha carbon emissions by its explaining ability model are as follows, such as total population (0.750 4), energy intensity per GDP (0.371 9), urbanization rate (0.272 0) and urban residents per capita consumption expenditure (0.145 2) with the background of rapid urbanization.

Key words: carbon emissions; influencing factors; ridge regression analysis; Changsha city

自英国在《能源白皮书》首次提出低碳概念,特别是哥本哈根气候会议后,低碳经济、低碳城市成为国内外学者普遍研究的热点。笔者对国内外低碳城市的理论研究做文献检索与分析时发现,国外对低碳城市的研究主要集中在城市碳排放综合构成^[1]、

能源消费与碳排放的关系^[2-3]、城市碳减排机制^[4]、城市空间规划与碳排放的关系^[5]等方面,其中既涉及理论基础探讨,也包括定性定量分析,还包括应用对策研究,研究成果及其丰富。与国外相比,国内低碳城市研究涉及领域则更为广泛,主要包括低碳城

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 教育部人文社科规划基金项目(12YJA790215); 湖南省社科基金一般项目(11YBB133)

作者简介: 赵先超(1983-),男,山东郓城人,湖南工业大学教师,湖南师范大学博士生,主要从事资源环境与区域可持续发展、低碳城市研究;丁梦(1981-),女,湖南湘潭人,湖南工业大学教师,主要从事计算机应用研究;杨英(1980-),女,陕西洛南人,湖南工业大学教师,主要从事低碳城乡规划研究。

市的概念及内涵^[6-7]、低碳城市发展路径与发展模式^[8-9]、低碳城市发展规划^[10-11]、城市关键领域碳排放^[12-14]、低碳城市发展评价^[15]与低碳城市治理^[16-17]等。国内研究现状表明,国内学者对低碳城市的研究侧重理论性探讨,相对缺乏系统的定量分析,特别是在城市化快速推进背景下城市碳排放与影响因素之间的响应关系研究成果至今尚不多见。当前国内城市低碳建设方兴未艾,而只有科学认识城市碳排放的影响因素及其存在的响应关系,才能有效制定科学、合理的碳减排对策。本文以此为切入点,结合中部典型省会城市长沙市城市化快速推进的现实背景,利用相关系数法以及基于修正的 $I = PAT$ 模型来探讨城市碳排放与影响因素之间的响应关系,无疑具有重要的理论意义与现实意义。

一 研究区域概况

长沙市是湖南省省会城市,地处洞庭湖平原,位于中国中南部的长江以南地区,是湖南省政治、经济、文化中心,也是全国首批历史文化名城和优秀旅游城市、国家森林城市、国家园林城市、全国生态试点示范城市,还是湖南省长株潭“3+5”城市群的核心城市。截至2009年,长沙市辖雨花、芙蓉、天心、开福、岳麓五区和长沙、望城、宁乡三县及浏阳市,城市总面积11 819.5 km²,其中市区面积556.33 km²,建城区面积128 km²;城市总人口587.09万人,其中非农业人口191.89万人,市区人口180.77万人。

二 研究方法

本文利用相关系数法定量测定长沙市低碳发展暨碳排放与其影响因素之间的相关性关系,并利用基于改进的 $I = PAT$ 修正模型以及线性回归模型(岭回归方程)对城市碳排放与其影响因素进行拟合分析,以分析各影响因素变动下长沙市碳排放的变动趋势。

(一) 相关系数法

对于两个要素 x 与 y , 如果它们的样本值分别为 x_i 和 y_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 则它们之间的相关系数被定义为 r_{xy} ^[18]。即表示要素 x 与 y 之间的相关系数, 是表示两要素之间相关程度的统计指标, 其中, $-1 \leq r_{xy} \leq 1$ 。若 $r_{xy} > 0$, 表示两要素正相关,

即同向发展; 若 $r_{xy} < 0$, 表示两要素负相关, 即异向发展。同时, r_{xy} 的绝对值越接近于 1, 表示两要素的关系越密切; r_{xy} 的绝对值越接近于 0, 表示要素的关系越不密切。

(二) $I = PAT$ 模型

Ehrlich 和 Holden^[19]将环境影响(I)与人口规模(P)、人均财富(A)和对环境毁坏的技术水平(T)联系起来,首次建立了“ $I = PAT$ ”方程来反映人口对环境压力的影响。然而传统的 $I = PAT$ 模型,由于仅能得到对因变量的等比例影响,而成为该模型最大的局限^[20]。为了深入研究城市化快速发展背景下长沙市人口因素、经济因素及技术因素对碳排放的影响,将传统的 $I = PAT$ 模型进行修正,其构建的修正模型为 $I = \alpha P^b A^c T^d e$ 。

式中, I 代表环境影响因素,用碳排放总量表示,单位为万 t; P 代表人口因素,用总人口 P_1 以及城市化率 P_2 表示; A 代表财富因素,用城市居民人均消费支出 A 表示; T 代表技术因素,用单位 GDP 能耗来表示。

与传统的 $I = PAT$ 模型相比,该模型将影响变量拓展,在人口因素中加入了城市化率变量,能够准确分析当前快速城市化背景下碳排放量与各因素之间的定量变动关系。

三 城市碳排放与影响因素的响应

(一) 城市碳排放与影响因素的相关性分析

参考国内外相关研究成果,选择碳排放总量(X_1)、总人口(X_2)、城市化率(X_3)、全市从业人员人口(X_4)、GDP(X_5)、GDP 增长率(X_6)、人均 GDP(X_7)、第三产业产出占 GDP 的比重(X_8)、工业产值占 GDP 比重(X_9)、能源消费总量(X_{10})、非化石能源消费所占比重(X_{11})、单位 GDP 能耗(X_{12})、单位规模工业增加值能耗(X_{13})、单位 GDP 电耗(X_{14})、城镇居民人均可支配收入(X_{15})、农村居民人均纯收入(X_{16})、城市居民人均消费支出(X_{17})以及农村居民人均生活消费支出(X_{18})等 18 个指标研究城市碳排放与其它 17 个指标的相关性。

利用原始数据,计算得到相关系数矩阵(见表 1),由表 1 可知: $r_{110} = 0.995 = |\max r_{1i}| > r_{12} > |r_{112}| > r_{111} > r_{117} > r_{115} > r_{13} > r_{116} > r_{118} > r_{17} >$

$|r_{114}| > r_{14} > r_{15} > |r_{113}| > |r_{18}| > r_{19} > r_{16}$ 。除 GDP 增长率与碳排放的相关性系数(绝对值)低于 0.5 以外($r_{16} = 0.410$),其余各项指标与碳排放的相关性系数均大于 0.5,说明本文所选指标较为准确。

具体来看,影响城市碳排放的诸指标中,相关系数绝对值贡献率大于 0.9(按照从大到小的顺序)的依次是能源消费总量、总人口、单位 GDP 能耗、非化石能源消费所占比重、城市居民人均消费支出、城镇居民人均可支配收入、城市化率、农村居

民人均纯收入、农村居民人均生活消费支出、人均 GDP、单位 GDP 电耗、全市从业人员人口、GDP 以及单位规模工业增加值能耗。此外,第三产业占 GDP 的比重以及工业产值占 GDP 的比重与碳排放相关系数得分也较高,分别达到 0.840 和 0.689,也大于 0.5;GDP 增长率则未能与碳排放表现明显的相关性。将这些相关系数绝对值大于 0.5 年城市低碳发展暨碳排放的影响因素进行归类,则这些因素分别代表了能源消费因素、人口因素、经济因素及技术因素。

表 1 各指标与城市碳排放的相关性系数矩阵

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}
X_1	1	0.992	0.978	0.958	0.943	0.410	0.962	-0.840	0.689	0.995	0.983	-0.989	-0.903	-0.959	0.980	0.971	0.980	0.966
X_2	0.992	1	0.985	0.987	0.967	0.442	0.983	-0.866	0.773	0.993	0.978	-1	0.928	-0.985	0.997	0.989	0.992	0.991
X_3	0.978	0.985	1	0.973	0.913	0.583	0.941	-0.770	0.784	0.994	0.996	-0.987	-0.853	-0.951	0.975	0.952	0.998	0.966
X_4	0.958	0.987	0.973	1	0.970	0.487	0.984	-0.871	0.865	0.969	0.952	-0.990	-0.932	-0.993	0.995	0.986	0.985	0.997
X_5	0.943	0.967	0.913	0.970	1	0.261	0.997	-0.963	0.789	0.930	0.892	-0.965	-0.992	-0.993	0.980	0.994	0.935	0.985
X_6	0.410	0.442	0.583	0.487	0.261	1	0.324	-0.003	0.618	0.501	0.570	-0.460	-0.139	0.377	0.426	0.345	0.553	0.422
X_7	0.962	0.983	0.941	0.984	0.997	0.324	1	-0.940	0.798	0.955	0.924	-0.982	-0.979	-0.998	0.993	0.999	0.959	0.994
X_8	-0.840	-0.866	-0.770	-0.871	-0.963	-0.003	-0.940	1	-0.687	-0.806	-0.745	0.862	0.990	0.923	-0.891	-0.930	-0.805	-0.900
X_9	0.689	0.773	0.784	0.865	0.789	0.618	0.798	-0.687	1	0.736	0.726	-0.789	-0.745	-0.831	0.810	0.793	0.805	0.836
X_{10}	0.995	0.993	0.994	0.969	0.930	0.501	0.955	-0.806	0.736	1	0.955	-0.993	-0.880	-0.958	0.981	0.964	0.994	0.969
X_{11}	0.983	0.978	0.996	0.952	0.892	0.570	0.924	-0.745	0.726	0.995	1	-0.979	-0.831	-0.931	0.962	0.936	0.990	0.947
X_{12}	-0.990	-1	-0.987	-0.990	-0.965	-0.460	-0.982	0.862	-0.789	-0.993	-0.979	1	0.925	0.986	-0.997	-0.989	-0.994	-0.99
X_{13}	-0.900	-0.928	-0.853	-0.932	-0.992	-0.139	-0.979	0.990	-0.745	-0.880	-0.831	0.925	1	0.969	-0.947	-0.972	-0.881	-0.95
X_{14}	-0.959	-0.985	-0.951	-0.993	-0.993	-0.377	-0.998	0.923	-0.831	-0.958	-0.931	0.986	0.969	1	-0.995	-0.978	-0.968	-0.99
X_{15}	0.979	0.997	0.975	0.995	0.980	0.426	0.993	-0.981	0.810	0.981	0.962	0.997	-0.947	-0.995	1	0.996	0.986	0.998
X_{16}	0.971	0.989	0.952	0.986	0.994	0.345	0.999	-0.929	0.793	0.964	0.936	-0.988	-0.972	-0.997	0.996	1	0.967	0.996
X_{17}	0.980	0.992	0.998	0.985	0.935	0.553	0.959	-0.805	0.805	0.994	0.990	-0.994	-0.881	-0.968	0.986	0.967	1	0.980
X_{18}	0.966	0.991	0.966	0.997	0.985	0.4217	0.994	-0.902	0.836	0.969	0.947	-0.992	-0.954	-0.997	0.998	0.996	0.980	1

进一步分析,以能源消费总量、非化石能源消费比重为代表的能源消费因素对城市碳排放影响因素最大。其中,能源消费总量与城市碳排放之间的相关性达到 0.992,说明在目前城市低碳发展的背景下,能源消费是导致碳排放增多的最主要因素;非化石能源消费比重与碳排放的相关系数达到 0.983,也说明了降低碳排放的重要途径在于优化能源结构,大力开发新能源,逐步提高新能源所占比重。以城市总人口、城市化率、全市从业人员为代表的人口因素也是导致城市碳排放增多的主要因素。一般来讲,人口总量越大,其城市碳排放也

就越多,然而城市化率与碳排放的相关性达到 0.978,说明当前城市碳排放主要是由于城市区域排放过多引起的,这也能从全市从业人员与碳排放之间的相关系数(0.958)看出。以城市居民人均消费支出、城镇居民人均可支配收入、人均 GDP、第三产业占 GDP 的比重、工业产值占 GDP 的比重等指标为代表的经济因素也是城市碳排放的主要影响因素,特别是城市居民人均消费支出与城镇居民人均可支配收入与碳排放的相关系数分别高达 0.980 与 0.979,较本文所选择的用于反映农村经济发展的指标与城市碳排放的相关系数较高,说明当前降低碳

排放的重点区域在于城镇,其重点领域在于工业生产领域的节能减排。以单位 GDP 能耗、单位 GDP 电耗以及单位 GDP 工业增加值能耗为代表的技术因素,对城市碳排放的影响也极为重要,特别是单位 GDP 能耗与城市碳排放的相关性高达0.990,说明采用建筑节能、交通节能、生产节能等节能减排技术,对降低城市碳排放也具有至关重要的作用。

(二) 基于 $I = PAT$ 修正模型的城市碳排放与影响因素的回归变动分析

通过系统研究 17 个指标与城市碳排放之间的相关系数,发现影响城市碳排放的主要因素是能源消费因素、人口因素、经济因素及技术因素。然而相关系数分析只是简单地测算了这些指标与城市碳排放之间的相关系数,对于这些因素与城市碳排放之间的动态变动关系并不能真实反映。然而科学地分析与定量测算这些因素与城市碳排放之间的定量变动关系,对于城市低碳发展以及碳排放情景预测具有至关重要的作用。基于此,本文利用上文构建的 $I = PAT$ 修正模型进行城市碳排放影响因素与城市碳排放之间的回归分析。

根据上一节分析及研究成果,本节仅选择 4 个指标(影响因素)对城市碳排放进行回归分析,即在人口因素的考量中,选择总人口 P_1 以及城市化率 P_2 ;在财富因素中仅选择城市居民人均消费支出 A ;技术因素中仅选择单位 GDP 能耗 T 。这主要基于以下 3 点考虑:

第一,计量经济学要求在进行多元线性回归分析时,其最小样本容量必须不少于模型中解释变量的数目(包括常数项)^[21],而本研究中由于资料收集难度无法收集到长沙市 2005 年以前的碳排放数据、单位 GDP 能耗数据;第二,人口总量必然对碳排放有较大影响,但如果只选择人口总量进行研究,则忽略了中国城市普遍存在的快速城市化现象,这客观要求本研究必须结合现实背景,即快速推进的城市化步伐对城市碳排放的影响,况且在选择城市总人口指标的基础上,选择城市化率指标既能够注重对人口结构因素的考虑,还能够更加符合城市化快速推进的现实背景;第三,GDP 总量等经济因素对于城市碳排放也具有重要影响,但对城市碳减排的政策涵义不大,但城镇居民人均可支配收

入指标与城市居民息息相关,具有更强的政策涵义。基于此,本着代表性以及可操作性等原则,选择总人口、城市化率、城市居民人均消费支出、单位 GDP 能耗 4 个指标对城市碳排放影响因素进行回归变动分析。

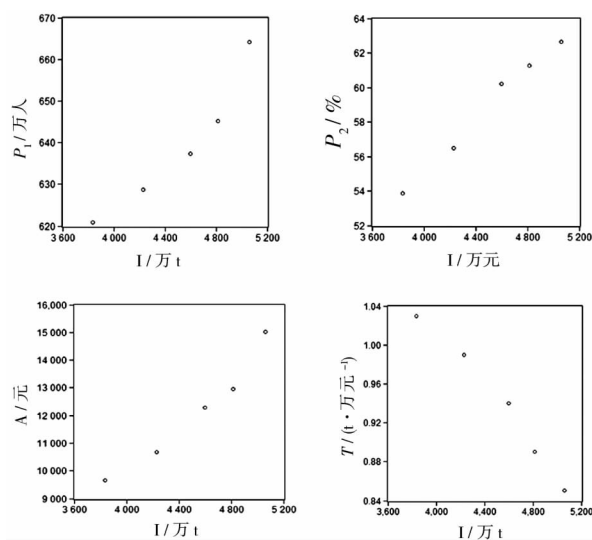


图1 长沙市碳排放总量与能源消费总量、总人口等因素的散点图

利用 EVIEWS5.0 软件绘制 2005 ~ 2009 年长沙市碳排放量与总人口、城市化率、城市居民人均消费支出、单位 GDP 能耗之间的散点图。通过图 1 可以看出,长沙市碳排放量与诸指标之间均表现出非平稳的特征。

因此,为消除时间序列数据间较大的波动以及克服序列的异方差性,需要对原始数据做对数处理,从而进行实证分析。

对原变量做对数处理后,因变量与自变量之间线性关系明显,从而能够保证因变量 $\ln(I)$ 与其它变量 $\ln(P_1)$ 、 $\ln(P_2)$ 、 $\ln(A)$ 以及 $\ln(T)$ 之间适合用于多元线性回归分析。对修正模型取对数,可得对数模型

$$\ln I = \ln \alpha + \alpha_1 (\ln P_1) + \alpha_2 (\ln P_2) + c (\ln A) + d (\ln T) + \ln e$$

为了判断因变量 $\ln(I)$ 与各自变量之间是否存在多重共线性,首先用最小二乘法进行多元线性回归。回归运算采用 EVIEWS6.0 计量经济学软件以及 SPSS17.0 社会经济学软件完成,下表为利用 EVIEWS6.0 输出的运算结果。

表2 回归变动分析的原始数据

年份	碳排放总量/ 万 t 碳	总人口/万	城市化率/%	城市居民人均 消费支出/元	单位 GDP 能耗/ t · 万元 ⁻¹)
2005	3 835.470	620.920	53.870	9 659.850	1.030
2006	4 232.120	628.800	56.500	10 679.700	0.990
2007	4 597.910	637.360	60.200	12 287.830	0.940
2008	4 813.600	645.140	61.250	12 960.000	0.890
2009	5 059.380	664.220	62.630	15 020.000	0.850

表3 多元回归结果

变量	Coefficient	Std. Error	t - Statistic	Prob
$\ln(P_1)$	-1.908	0.846	-2.255	0.074
$\ln(P_2)$	0.500	0.246	2.032	0.098
$\ln(A)$	0.271	0.272	0.996	0.365
$\ln(T)$	-1.022	0.365	-2.797	0.038
C	16.085	4.115	3.909	0.011

根据表3的软件计算结果,构建回归模型。虽然构建的多元线性回归模型的可决系数 $R^2 = 0.9959$, F 值检验出存在显著性水平 ($F = 306.9031$, $P = 0.000004$)。但在回归系数的显著

性检验中, $\ln(A)$ 、 $\ln(P_2)$ 等多个自变量的回归系数无法通过 t 检验,这表明因变量与自变量之间可能存在较为严重的多重共线性问题。

为验证因变量与自变量之间是否存在多重共线性问题,可以利用 SPSS17.0 软件,计算出各自变量的条件指标 (condition index, CI)。首先启动 SPSS17.0,输入数据后,选择分析——回归——线性模块,最终得到如表4的分析结果。由分析结果可以看出,5个自变量的 CI 值有3个远远大于30,说明自变量之间存在严重的多重共线性,不适合直接采用普通最小二乘法进行无偏估计。

表4 各自变量的条件指标

变量	特征根	条件指标 (CI)	方 差 比 例				
			常量	$\ln(P_1)$	$\ln(P_2)$	$\ln(A)$	$\ln(T)$
1	3.999	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1.001	1.999	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
3	6.786E ~ 5	242.759	0.000	0.000	0.140	0.000	0.100
4	2.039E ~ 6	1400.396	0.060	0.000	0.790	0.770	0.860
5	2.947E ~ 7	3683.917	0.940	1.000	0.070	0.230	0.020

为了克服变量间多重共线性的影响,采用有偏估计的岭回归进行模型拟合。经拟合分析,当 $K = 0.2$ 时,可决系数 $R^2 = 0.9952$,各自变量回归系数变化也逐渐趋于稳定。因此,可以拟合得到标准化的岭回归方程。由于标准化的岭回归模型由于没有常数项,需要将常数及各自变量代入,经计算最终得到如下对应的岭回归方程:

$$\ln I = 0.7504(\ln P_1) + 0.2720(\ln P_2) + 0.1452(\ln A) - 0.3719(\ln T) + 1.0645.$$

上述方程为最终所求的岭回归方程,经检验各项指标都较为显著,各变量回归系数也均能通过经济学意义检验。

从岭回归方程可以看出,在城市化快速推进的背景下,影响长沙市碳排放的因素按其对应模型的解释能力依次是总人口(0.7504)、单位 GDP 能耗(0.3719)、城市化率(0.2720)以及城市居民人均

消费支出(0.1452)。因此,除能源消费因素与人口总量因素,单位 GDP 能耗对长沙市碳排放的影响最大,其影响作用明显大于城市化率以及城市居民人均消费支出因素。具体来看,单位 GDP 能耗水平每降低(或提高)1个百分点,城市碳排放将提高(或降低)0.3719个百分点;城市化率每提高(或降低)1个百分点,城市碳排放也将提高(或降低)0.2720个百分点;城市居民人均消费支出每提高(或降低)1个百分点,城市碳排放将提高(或降低)0.1452个百分点。

城市化快速推进背景下,影响城市碳排放的因素主要有能源消费总量、总人口、单位 GDP 能耗、非化石能源消费所占比重、城市居民人均消费支出、城镇居民人均可支配收等因素。利用相关系数法发现,在城市化快速推进背景下,在影响长沙市

碳排放的诸指标中,如果将这些相关系数绝对值大于0.5的长沙市碳排放的影响因素进行归类,则这些影响因素(指标)代表了能源消费因素、人口因素、经济因素及技术因素。而I = PAT修正模型分析发现,在城市化快速推进的背景下,长沙市碳排放的影响因素按其对模型的解释能力依次是总人口(0.750 4)、单位GDP能耗(0.371 9)、城市化率(0.272 0)以及城市居民人均消费支出(0.145 2)。

综合来看,由于长沙市人口短时期内下降的可能性较小,因此这从一定程度上说明了当前降低城市碳排放的主要途径是减少能源消耗、提高经济效率。

第一,减少能耗就要求优化能源结构、鼓励开发与应用绿色能源和新能源。要逐步按照低碳城市的建设要求,积极调整与改善能源结构,努力开发生物质能、水能、核能等清洁能源,逐步在全社会构建低碳能源体系,以能源节约为基础,以新能源开发为拓展,做好能源利用与开发的“开源节流”。

第二,提高经济效率就要求产业结构的优化升级,传统“三高一低”经济向循环经济与低碳经济的演变。由于长沙市在未来一段时间内仍将处于工业化和城市化快速发展的进程,高耗能制造业所占比重近几年内也难以有根本性的改变,但是调整产业结构,促进工业低碳升级以及逐步提高第三产业比重依然是城市碳减排的重要途径。坚决淘汰“三高一低”的落后产业;加快产业结构优化升级;大力发展高新技术产业和生产性服务业;逐步提高金融、服务、信息等低碳排放产业的发展速度;加快构建节能型产业体系,促进经济发展方式的根本转变;努力形成“低投入、低消耗、低排放、高效率”的低碳经济发展模式。

参考文献:

- [1] Ho Chin Siong, Fong Wee Kean. Planning for Low Carbon Cities: The Case of Iskandar Development Region [C]. Toward Establishing Sustainable Planning and Governance II, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea on november 2007 organized by SUDI: 11 - 15.
- [2] Lantz V, Feng Q. Assessing income, population and technology impacts on CO₂ emission in Canada: where's the EKC? [J]. Ecological economics, 2006, 56: 176 - 189.
- [3] Stern N. The Economics of Climate Change: The Stern Review [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- [4] Sturluson J T. Economic Instrument for decoupling Environmental Pressure from Economic Growth [M]. Project Description, August 13. 2002.
- [5] Joanthan Norman. Company High and Low Residential Density: Life Cycle Analysis of Energy Use and Green House Emission [J]. Journey of Urban Planning and Development, 2006(3): 10 - 19.
- [6] 胡鞍钢. 中国如何应对全球气候变暖的挑战 [J]. 国情报告, 2007, 29: 41 - 62.
- [7] 李克欣. 低碳城市建设的初步思考 [J]. 中国科技财富, 2009(13): 94.
- [8] 杨国锐. 低碳城市发展路径与制度创新 [J]. 城市问题, 2010, 7: 44 - 48.
- [9] 刘文玲, 王 灿. 低碳城市发展实践与发展模式 [J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20: 17 - 22.
- [10] 顾朝林, 谭纵波, 刘 宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展 [J]. 城市规划学刊, 2009, 3: 38 - 45.
- [11] 梁本凡, 周跃云, 朱守先, 等. 中国城市低碳发展规划研究进展 [J]. 经济, 2010, 11: 90 - 96.
- [12] 低碳城市发展与对策措施研究——上海实证分析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010, 43 - 44.
- [13] 赵先超. 城市低碳发展与提升对策研究——基于城市的实证分析 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.
- [14] 赵先超, 周跃云, 芦 鹏. 城市低碳发展水平及关键领域碳排放实证研究——基于天津市的案例分析 [J]. 湖南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 25(4): 81 - 85.
- [15] 梁本凡, 朱守先. 中国前 100 城市低碳发展排位研究 [J]. 经济, 2010, 10: 22 - 27.
- [16] 周跃云, 王汉青, 赵先超, 等. 长株潭城市群低碳发展模式的试点示范研究——以株洲市为例 [A]. 张 萍. 长株潭城市群发展报告(2010) [C]. 北京: 社会科学文献出版社, 2010.
- [17] 张 旺, 刘建文, 赵先超, 等. 两型社会背景下株洲市创建低碳城市的战略研究 [J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2011, 16(2): 8 - 14.
- [18] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 10.
- [19] York R, Rosa E A, Eietz T. 2002. Bridging environmental science with environmental policy: plasticity of population, affluence and technology [J]. Socal Science Quarterly, 83(1): 18 - 34.
- [20] 刘兰翠. 我国二氧化碳减排问题的政策建模与实证研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
- [21] 李子奈, 潘文卿. 计量经济学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005, 60 - 65.

责任编辑: 徐 蓓