

中国碳排放影响因素分析和趋势预测 ——基于 STIRPAT 和 GM(1,1)模型的实证研究

佟昕¹, 陈凯¹, 李刚^{1,2}

(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 东北大学 秦皇岛分校, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 采用 STIRPAT 模型全面地对影响中国 2000—2011 年碳排放的因素进行分析, 并利用灰色模型 GM(1,1) 预测了中国 2012—2020 年碳排放量. 研究结果显示: 城镇化率、经济增长、产业结构、能源价格、人口、能源结构和外贸强度对碳排放量有一定的促进作用, 技术进步对碳排放量具有较强的抑制作用; 其中对中国碳排放量增加影响较大的因素是人口和产业结构; 根据 GM(1,1) 预测模型的结果, 可以看出未来的减排压力还很大. 因此, 治理碳排放的政策应该综合考虑人口、产业结构和技术进步等影响因素.

关 键 词: 碳排放; 影响因素; 偏最小二乘回归法; STIRPAT 模型; GM(1,1) 模型

中图分类号: F 201; X 321

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)02-0297-04

Influencing Factors Analysis and Trend Forecasting of China's Carbon Emissions

——Empirical Study Based on STIRPAT and GM(1,1) Models

TONG Xin¹, CHEN Kai¹, LI Gang^{1,2}

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China. Corresponding author: TONG Xin, E-mail: angel.tongtong@163.com)

Abstract: STIRPAT (stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology) model is used to analyze the influencing factors of China's carbon emissions, and gray model GM(1,1) is applied to the prediction of emissions from 2012 to 2020. The analysis shows that urbanization, economy growth, industrial structure, energy prices, population, energy structure and foreign trade are the main factors to aggravate the emissions, while technology progress plays an important role in the inhibition of emissions. Among the factors mentioned, population and industrial structures are the two dominant factors. Based on the GM(1,1), China's carbon emission is predicted, showing the pressure of reducing carbon emissions is great. Therefore, the governance of carbon emission should synthetically consider the factors mentioned above.

Key words: carbon emission; influencing factor; partial least squares regression; STIRPAT model; GM(1,1) model

碳排放引起的气候问题成为世界各国关注的焦点. 面对严峻的气候问题, 中国政府将减排目标作为约束性指标纳入发展规划, 计划“十三五”规划期间加强碳排放控制.

Hettige 等^[1-3]认为不同国家能源消费、经济关系和环境污染之间的动态关系并不相同;

Wang^[4-6]等从产业结构等方面对碳排放分解分析. 在碳排放预测研究方面, 主要采用环境库兹涅茨模型模拟中国碳排放^[7], 用 Logistic 模型预测碳排放峰值等^[8].

目前在研究中采用计量经济学方法结合 STIRPAT 模型研究碳排放问题的并不多, 预测结

收稿日期: 2014-05-12

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金资助项目(12YJA790010); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(11YJC790079); 河北省自然科学基金青年科学基金资助项目(G2012501013); 东北大学人文社会科学重点项目(XNR201307).

作者简介: 佟昕(1975-), 女, 辽宁沈阳人, 东北大学博士研究生; 陈凯(1961-), 男, 山西浑源人, 东北大学教授, 博士生导师.

果差异较大. 本文构建 STIRPAT 扩展模型, 采用偏最小二乘法分析碳排放影响因素, 预测中国碳排放量, 提出低碳转型战略.

1 STIRPAT 碳排放影响因素模型的建立

IPAT 模型^[9]:

$$I=P\times A\times T.$$

(1)

式中: I 表示环境负荷; P 表示人口; A 表示人均 GDP; T 表示单位 GDP 的环境负荷.

STIRPAT 模型^[10]:

$$I=a\times P^g\times A^c\times T^d\times e.$$

(2)

式中: a 是模型的比例常数项; g,c,d 皆为指数项; e 为误差项.

构造 STIRPAT 模型的碳排放计量模型:

$$EM=a\times U^b\times A^c\times T^d\times S^e\times E^f\times P^g\times ES^h\times EX^i.$$

(3)

EM,U,A,T,S,E,P,ES,EX 分别为碳排放量、城镇人口比重、国内生产总值、能源强度、第二产业比重、能源价格指数、人口总数、煤炭消耗比重和出口依存度; b,c,d,e,f,g,h,i 为参数.

利用偏最小二乘回归法分析碳排放影响因素, 利用灰色模型 GM(1,1) 预测中国碳排放量.

2 数据选取与实证分析

2.1 数据选取

碳排放量一般根据国际相关机构发布的数据或通过碳排放系数计算得到. 本文根据中国能源年鉴计算碳排放量, 用 EM 表示.

本文选择 8 个影响因素指标, 数据的统计描述见表 1.

表 1 碳排放量及影响因素的统计数据 Table 1 Statistical data of carbon emissions and influencing factors					
指标	样本数	平均值	标准差	最大值	最小值
碳排放量/kt	12	1.6254×10^6	5.2466×10^6	2.48×10^6	9.29×10^5
城镇人口比重/%	12	43.752 5	4.879 4	51.27	36.22
国内生产总值 $\times10^{-9}$ /元	12	2.0398×10^5	88 811.58	3.63×10^5	98 000.50
能源强度 $\times10^{-9}/(\text{t}\cdot\text{元}^{-1})$	12	1.195 6	0.170 5	1.42	0.91
第二产业比重/%	12	46.471 1	0.952 5	47.95	44.79
能源价格指数	12	104.9	5.784 8	111.40	92.1
人口总数 $\times10^{-4}$	12	130 950	2 601.01	134 735	126 743
煤炭消耗比重/%	12	73.1	1.17	74.9	71.5
出口依存度/%	12	27.88	5.56	35.9	20.1

2.2 STIRPAT 模型检验和估计

模型(3) 变量分析显示变量间存在共线性, 采用偏最小二乘回归拟合方程, 主成分分析采用 SPSS 软件, 结果见表 2.

根据变量累计贡献率大于 85% 的原则, 对变量 $\ln U,\ln G,\ln T,\ln S,\ln E,\ln P,\ln ES,\ln EX$ 进行分析和筛选后可以从中提取出 2 个主成分, 用 FAC_1 和 FAC_2 表示, 采用 Eviews6.0 将主成分分别作为因变量, 与原始数据的 8 个变量作最小二乘回归, 结果见表 3.

$$FAC_1=1.728\ 393\ln U+0.434\ 751\ln A-1.083\ 915\ln T+8.129\ 612\ln S+1.316\ 682\ln E+9.806\ 066\ln P+6.864\ 982\ln ES+0.703\ 493\ln EX-196.275\ 3.$$

(4)

表 2 主成分分析结果 Table 2 Results of principal component analysis			
成分	初始特征值		
	总计	方差百分比/%	方差累计百分比/%
1	4.875	60.943	60.943
2	1.933	24.167	85.110
3	0.913	11.415	96.525
4	0.142	1.775	98.300
5	0.116	1.456	99.756
6	0.017	0.218	99.974
7	0.002	0.024	99.999
8	0.000	0.001	100.000

$$\begin{aligned} \text{FAC}_2 = & -1.434\ 486\ln U - 0.382\ 532\ln A + \\ & 2.092\ 416\ln T + 12.535\ 40\ln S + 3.922\ 747\ln E - \\ & 7.796\ 909\ln P + 20.436\ 38\ln ES + 1.695\ 779\ln EX - \\ & 58.116\ 30. \end{aligned} \tag{5}$$

采用最小二乘法回归拟合,拟合结果较好(见表 4)。

表 3 主成分与 8 个变量的回归结果
Table 3 Regression results of principal component and eight variables

参数	参数值	
	FAC ₁	FAC ₂
lna	-196.275 30	-58.116 30
b	1.728 393	-1.434 486
c	0.434 751	-0.382 532
d	-1.083 915	2.092 416
e	8.129 612	12.535 40
f	1.316 682	3.922 747
g	9.806 066	-7.796 909
h	6.864 982	20.436 380
i	0.703 493	1.695 779

表 4 普通最小二乘回归结果
Table 4 Ordinary least squares regression results

变量	系数	标准误差	概率
常数项	14.249 7	0.015 2	0.000 0
FAC ₁	0.332 4	0.015 8	0.000 0
FAC ₂	-0.069 0	0.015 8	0.001 8

模型的相关系数为 0.980 756,显示方程拟合很好,lnEM 与 FAC₁,FAC₂ 的关系方程:

$$\begin{aligned} \ln EM = & 14.249\ 7 + 0.332\ 4\text{FAC}_1 - \\ & 0.069\ 0\text{FAC}_2. \end{aligned} \tag{6}$$

将式(4),(5)代入式(6)得到

$$\begin{aligned} \ln EM = & -46.978\ 1 + 0.673\ 363\ln U + 0.170\ 871\ln A - \\ & 0.504\ 53\ln T + 1.837\ 675\ 6\ln S + + 0.167\ 144\ln E + \\ & 3.796\ 78\ln P + 0.872\ 584\ln ES + 0.116\ 892\ln EX. \end{aligned} \tag{7}$$

由方程(7)得到 STIRPAT 模型:

$$\begin{aligned} EM = & 3.959\ 77e^{-21} \times U^{0.673\ 363} \times A^{0.170\ 87} \times \\ & T^{-0.504\ 53} \times S^{1.837\ 675\ 6} \times E^{0.167\ 144} \times P^{3.796\ 78} \times ES^{0.872\ 584} \\ & EX^{0.116\ 892}. \end{aligned} \tag{8}$$

结果显示:①城镇人口比重每上升 1 个百分点,碳排放量就提高 0.673 363 kt;②GDP 上升 1 个百分点,碳排放量增加 0.170 871 kt;③能源强度提高 1 个百分点,碳排放量下降 0.504 53 kt,证明降低碳排放量,技术进步是关键;④增加产业结构中第二产业占全国国内生产总值的比重对碳排放量的影响非常大,第二产业比重增加 1%,碳排放量就上升 1.837 675 6 kt;⑤能源价格对降低碳排放量所起的作用较小,影响系数为 0.167 144;⑥人口对碳排放量影响较大,人口总量变化 1 个百分点,碳排放量增加 3.796 78 kt;⑦煤炭消耗比重和出口依存度每个百分点的变化对碳排放量的影响为 0.872 584 和 0.116 892 kt。

2.3 GM(1,1) 预测

根据影响中国碳排放量的 8 个因素和 2000—2011 年碳排放原始数据,得到基于 GM(1,1) 模型的碳排放量预测方程(见表 5),运用 Matlab 软件对 2012—2020 年的碳排放量进行预测,结果见表 6。模型的后验差检验结果:小误差概率为 1,均方差比值为 0.047 0,预测的平均相对误差为 0.029 867,精度为二级,证明预测具有较高的精度,预测有效。

2000—2020 年碳排放量的实际值和预测值拟合曲线见图 1。图 1 显示,2020 年中国的碳排放量将达到 5 529 800 kt。应该理性认识我国碳排放的压力,采取积极政策,从根本上解决低碳经济发展中的障碍,实现我国的减排目标。

表 5 预测方程及 a,u 值
Table 5 Prediction equation and a,u value

GM(1,1) 模型	预测方程	a 值	u 值
$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-ak} + \frac{u}{a}$	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 11\ 580\ 000e^{-0.087\ 192k} - 1\ 065\ 100$	-0.087 192	928 670

表 6 2012—2020 年碳排放量预测结果
Table 6 Carbon emissions forecast from 2012 to 2020

								kt
2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
2 752 800	3 003 600	3 277 200	3 575 800	3 901 600	4 257 000	4 644 900	5 068 000	5 529 800

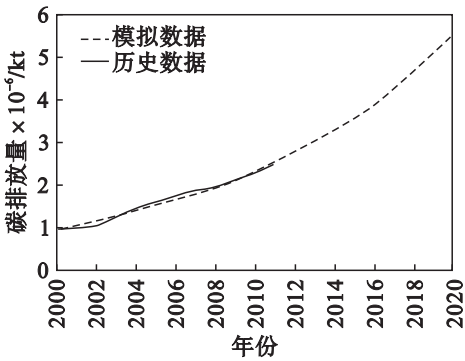


图 1 2000—2020 年碳排放量的实际值和预测值拟合曲线
Fig.1 Fitted lines of actual and predicted carbon emissions values from 2000 to 2020

3 结论

- 1) 能源强度对我国碳排放影响系数为 0.504 5,表明技术进步对降低碳排放具有积极作用,应该加快低碳技术发展,实现我国经济新的增长点.
- 2) 经济增长、城镇化率、人口对碳排放有促进作用,能源价格对碳排放没有起到理想的控制作用.
- 3) 中国能源消耗产生的碳排放量趋势表明,中国清洁能源利用率和能源效率有所提高.
- 4) 第二产业比重总体呈下降趋势,但是作为碳排放的主要影响因素之一,产业结构的调整仍然是未来经济工作的重要内容.
- 5) 出口依存度 2003 年为 26.7%,2006 年为 35.9%,碳排放量相应上升;出口贸易业务仍然以能源密集型的出口产业为主.
- 6) GM(1,1)模型的预测研究结果证明,总体预测精度较高,预测结果合理.从预测结果可以看出,中国应该理性地看待中国未来碳排放的趋势,通过生态文明建设来推进低碳经济发展.

参考文献:

[1] Hettige H, Lucas R E B, Wheeler D. The toxic intensity of industrial production; global patterns, trends, and trade policy [J]. *American Economic Review*, 1992, 82 (2) : 478 – 481.

[2] Richmond A K, Kaufman R K. Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? [J]. *Ecological Economics*, 2006, 56 (2) : 176 – 189.

[3] Soytas U, Sari R. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: challenges faced by an EU candidate member [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68 (6) : 1667 – 1675.

[4] Wang C, Chen J, Zou J. Decomposition of energy-related CO₂ emission in China: 1957 – 2000 [J]. *Energy*, 2005, 30 (1) : 73 – 83.

[5] Wu L B, Kaneko S, Matsuoka S. Driving forces behind the stagnancy of China’s energy-related CO₂ emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change [J]. *Energy Policy*, 2005, 33 (3) : 319 – 335.

[6] 范体军, 骆瑞玲, 范耀东. 我国化学工业二氧化碳排放影响因素研究 [J]. 中国软科学, 2013 (3) : 166 – 174.
(Fan Ti-jun, Luo Rui-ling, Fan Yao-dong. Study on influence factors for carbon dioxide emissions in China’s chemical industry with LMDI method [J]. *China Soft Science Magazine*, 2013 (3) : 166 – 174.)

[7] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析 [J]. 管理世界, 2009, 4 (4) : 27 – 36.
(Lin Bo-qiang, Jiang Zhu-jun. Environmental Kuznets curve for prediction of China’s carbon dioxide emissions and influencing factors analysis [J]. *Management World*, 2009, 4 (4) : 27 – 36.)

[8] Tol R S J. Carbon dioxide emission scenarios for the USA [J]. *Energy Policy*, 2007, 35 (11) : 5310 – 5326.

[9] Ehrlich P R, Ehrlich A H. Population, resources, environment: issues in human ecology [M]. San Francisco: Freeman, 1970.

[10] York R, Rosa E A, Dietz T. A rift in modernity? assessing the anthropogenic sources of global climate change with the STIRPAT model [J]. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2003, 23 (10) : 31 – 51.