

doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2017.02.030

基于 STIRPAT 及解耦模型的河北省 碳排放影响因素分析

杨沫, 陈凯

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 运用解耦模型分析了 2007 年—2014 年河北省的解耦状态;从增长性耦合到弱解耦,在波动中实现了强解耦. 运用 STIRPAT 模型分析河北省碳排放影响因素,利用灰色模型 GM(1,1) 预测河北省 2015 年—2022 年碳排放量,结果显示:产业结构对河北省碳排放影响最大;煤炭消费量、人均 GDP、城镇人口占比、人口数对河北省碳排放量有促进作用,能源价格和研究与发展经费支出对河北省碳排放量的影响系数较小;能源结构、能源强度对河北省碳排放量有一定的抑制作用. GM(1,1) 模型预测结果显示:应当重视河北省碳排放量的发展趋势,正视低碳发展的压力,通过调整各影响因素实现河北省低碳经济.

关 键 词: STIRPAT 模型;解耦模型;碳排放;影响因素;因子分析;GM(1,1)

中图分类号: F 062.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)02-0300-05

Influencing Factors of Carbon Emissions in Hebei Province Based on the STIRPAT and Decoupling Models

YANG Mo, CHEN Kai

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: YANG Mo, E-mail: spring2112002@aliyun.com)

Abstract: The decoupling state of Hebei Province from 2007 to 2014 was analyzed by using the decoupling model, and the results showed that the decoupling state has changed from the growing coupling to the weak decoupling, which finally realizes the strong decoupling in volatility. The influencing factors of carbon emission in Hebei Province were analyzed by using the STIRPAT model, and the carbon emission of 2015-2022 in Hebei Province was predicted by using the grey model GM(1,1). The results showed: industrial structure has the biggest influence on carbon emission; coal consumption, per capita GDP, urban population proportion and overall population have promoting effect on carbon emission, while energy price and expenditure on R&D have a small influence coefficient on carbon emission; and energy structure and energy intensity have a certain inhibitory effect on carbon emission. The prediction results from the GM(1,1) model showed that Hebei Province should pay greater attention to the development trend of carbon emission, face the pressure of low carbon development, and achieve low carbon economy in Hebei Province by adjusting all the influencing factors.

Key words: STIRPAT model; decoupling model; carbon emission; influencing factor; factor analysis; GM(1,1)

全球气候变暖是人类生存与发展面临的重要问题^[1]. 河北省是中国重要的产煤和能源消费大省,化石能源的燃烧排放了大量的温室气体,让环

境付出了沉重的代价^[2]. 由 IPAT 模型扩展而来的 STIRPAT 模型是进行碳排放影响因素研究的主流手段之一^[3-5]. Shi 运用 STIRPAT 模型分析

表明人口总数会引起碳排放量同方向的变化^[6]. Shahbaz 等研究表明城市化能促进马来西亚能源消费量的增长^[7]. 另外, Kaya 恒等式^[8-10]常用来进行因素分解和计算碳排放量. 文献[11-14]运用 Granger 因果分析方法研究了经济增长与能源消费之间的关系. 中国在“十三五”规划中明确要求控制碳排放量, 因此, 本文根据河北省统计局和经济年鉴的相关碳排放数据, 运用解耦模型分析了 2007 年—2014 年河北省的解耦状态, 并采用 STIRPAT 模型对河北省碳排放影响因素进行了分析, 最后利用灰色模型 GM(1,1) 预测了河北省 2015 年—2022 年碳排放量, 为河北省低碳经济的实现提供科学依据.

1 河北省经济增长与碳排放的解耦模型

1.1 模型构建

解耦理论主要用于研究经济与资源排放量之

间的关系. 解耦指数是通过计算一段时间内资源消耗量增长率与经济增长率的比值来分析两者的解耦关系. 本文采用 Vehmas 解耦测算模型来计算河北省经济增长与碳排放的解耦指数, 计算公式为

$$W = \frac{(C^{t+1}/G^{t+1})}{C^t/G^t} - 1 = \frac{(C^{t+1}/G^{t+1}) - (C^t/G^t)}{C^t/G^t} \quad (1)$$

式中: C^t, C^{t+1} 分别为第 t 年(基期)和第 $t+1$ 年的碳排放量; G^t, G^{t+1} 为第 t 年和第 $t+1$ 年的 GDP. C/G 为单位 GDP 的碳排放量, 即碳排放强度, 因此 W 为碳排放强度变化率, 即碳解耦指数.

根据解耦理论, 碳排放量增长率小于 GDP 增长率就被称为解耦, 反之称为未解耦. 也就是说, 碳排放强度变化率即碳解耦指数 W 小于 0 为解耦, 大于 0 为未解耦. 同时, 可以根据 C 和 G 的变化率的正负性来判断具体的解耦状态, 划分标准如表 1 所示.

表 1 碳解耦状态的划分标准
Table 1 Division standards of carbon decoupling state

解耦状态		碳排放量变化率	GDP 变化率	碳解耦指数
解耦	强解耦	<0	>0	<0
	弱解耦	>0	>0	<0
	衰退性解耦	<0	<0	<0
未解耦	增长性耦合	>0	>0	>0
	衰退性耦合	<0	<0	>0
	反耦合	>0	<0	>0

1.2 解耦指数测算结果

本文 2007 年—2014 年的数据来源于《中国能源统计年鉴》和《河北经济年鉴》, GDP 以 2007 年为基期的不变价格进行调整来消除价格波动的影响. 碳排放量根据煤炭、石油及天然气的消耗量进行估算. 计算公式为

$$C = \sum_{i=1}^n A_i B_i D_i E_i \quad (2)$$

表 2 河北省碳解耦指数测算结果(2007—2014)
Table 2 Results of carbon decoupling index in Hebei Province (2007-2014)

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
碳解耦指数	0.019 8	-0.088 3	-0.015 5	-0.076 2	0.007 8	-0.069 7	-0.045 6	-0.101 8
解耦状态	增长性耦合	弱解耦	弱解耦	弱解耦	增长性耦合	弱解耦	弱解耦	强解耦

从结果可以看出, 河北省的最初解耦状态是增长性耦合, 最终状态是强解耦, 说明 2007 年—2014 年间河北省的低碳化道路有了一定的成效, 具体分析如下.

式中: C 为碳排放量; A_i 为能源 i 的消耗量(实物量); B_i 为能源 i 的标准煤折算系数; D_i 为能源 i 的碳排放系数; E_i 为能源 i 的固碳率.

利用 SPSS 软件将标准化后的数据代入公式(1), 得到河北省碳解耦指数及对应的解耦状态, 见表 2.

1) 2007 年和 2011 年, 河北省的解耦状态为增长性耦合, 碳排放量的增长率为正且比 GDP 的增长率大, 说明河北省经济的快速发展依靠的是煤炭等高能耗资源, 并没有摆脱高碳的困境.

2) 2008 年—2010 年、2012 年及 2013 年,河北省的解耦状态为弱解耦,碳排放量的增长率为正,但比 GDP 的增长率小,说明经济的发展与高碳相对脱钩,是一种相对解耦的状态.

3) 2014 年河北省实现了强解耦,随着经济的增长碳排放量有所下降,这是一种绝对解耦的状态,说明经济的发展完全与高碳脱钩.

虽然八年间河北省解耦状态在波动中呈现逐渐解耦的状态,但是 2014 年的碳解耦指数仅为 -0.1018 ,相比于其他低碳城市如厦门、上海等的碳解耦指数(接近于 -1)还有很大的距离,说明河北省的节能减排工作虽然取得了一定成绩,但是如何保持并推进低碳化的发展模式还需要进一步分析河北省碳排放的影响因素,通过调整各影响因素来降低河北省的碳排放量.

2 河北省碳排放影响因素的 STIRPAT 模型

2.1 模型构建与数据选取

STIRPAT 模型是在传统的 IPAT 模型上进行了扩展,公式为

$$I = aP^b A^c T^d e. \tag{3}$$

式中: I 为环境影响; P 为人口数; A 为富裕程度; T 为技术水平; a 为比例常数项; b, c, d 为指数项; e 为误差项.

根据河北省的实际情况,构建了河北省的 STIRPAT 模型:

$$C = aX_1^b X_2^c X_3^d X_4^e X_5^f X_6^g X_7^h X_8^i X_9^j. \tag{4}$$

式中: C 为碳排放量; a 为比例常数项; X_1, X_2, \dots, X_9 为碳排放影响因素,分别代表煤炭消费量、能源结构(煤炭消费量比重)、能源强度(单位 GDP 能耗)、人均 GDP、人口数、产业结构(第二产业比重)、城镇人口占比、能源价格、研究与发展经费支出; $b, c, d, e, f, g, h, i, j$ 为指数项.

两边取对数可得

$$\ln C = \ln a + b \ln X_1 + c \ln X_2 + d \ln X_3 + e \ln X_4 + f \ln X_5 + g \ln X_6 + h \ln X_7 + i \ln X_8 + j \ln X_9. \tag{5}$$

设 $Z = \ln C, Z_i = \ln X_i$, 上述指标数据 X_i (2004—2014) 来源于《河北经济年鉴》和《中国能源统计年鉴》,根据 2004 年为基期的不变价格进行调整来消除价格波动的影响.

2.2 模型结果分析

对河北省影响碳排放量的 9 个因素进行因子分析,运用 SPSS 统计分析软件的主成分分析法,采用最大方差法进行因子旋转,结果显示 KMO

值为 0.622, Bartlett 检验的相关概率小于显著性水平 0.001,表明本文所选指标比较适度,基本上可以作因子分析.

由表 3 可知,对于河北省碳排放影响因素,可提取出两个大于 1 的特征值,两个主因子 Y_1 和 Y_2 解释了总体方差的 90.169%,满足因子分析的要求.成分得分系数矩阵见表 4.

表 3 模型总方差表			
Table 3 Total variance table of the model			
成分	起始特征值		
	总计	方差/%	累加方差/%
1	6.855	76.166	76.166
2	1.260	14.003	90.169
3	0.701	7.792	97.961
4	0.149	1.654	99.615
5	0.027	0.298	99.913
6	0.005	0.059	99.972
7	0.002	0.017	99.989
8	0.001	0.009	99.998
9	0.000	0.002	100.00

表 4 成分得分系数矩阵		
Table 4 Component score coefficient matrix		
Z_i	成分	
	Y_1	Y_2
Z_1	0.155	0.208
Z_2	-0.106	0.160
Z_3	-0.135	0.093
Z_4	0.153	0.099
Z_5	0.145	-0.002
Z_6	0.063	0.776
Z_7	0.149	0.043
Z_8	-0.069	0.309
Z_9	0.149	0.029

根据表 4 的系数矩阵,得出两个因子的组成:
 $Y_1 = 0.155Z_1 - 0.106Z_2 - 0.135Z_3 + 0.153Z_4 + 0.145Z_5 + 0.063Z_6 + 0.149Z_7 - 0.069Z_8 + 0.149Z_9,$ (6)

$Y_2 = 0.208Z_1 + 0.160Z_2 + 0.093Z_3 + 0.099Z_4 - 0.002Z_5 + 0.776Z_6 + 0.043Z_7 + 0.309Z_8 + 0.029Z_9.$ (7)

数据标准化后对两个主因子与 Z 作回归分析,结果如表 5 所示.

表 5 模型回归系数检验表					
Table 5 Test table of regression coefficients of the model					
变量	非标准化系数	标准误差	标准化系数	T	显著性
常数	-1.221×10^{-14}	0.052		0.000	1.000
Y_1	0.799	0.084	0.799	9.565	0.000
Y_2	0.234	0.084	0.234	2.803	0.023

结果显示：回归分析的相关系数 R^2 为 0.970, P 值为 0.000, 说明模型的回归结果较理想. Y_1 的回归系数在 0.001 水平下显著, Y_2 的回归系数在 0.05 下显著, 与 Z 都是正相关, 由此得到回归方程:

$$Z=0.799Y_1+0.234Y_2.$$
 (8)

将式(6)和式(7)代入式(8)得

$$\ln C=0.173\ln X_1-0.047\ln X_2-0.086\ln X_3+0.145\ln X_4+0.115\ln X_5+0.232\ln X_6+0.129\ln X_7+0.017\ln X_8+0.126\ln X_9.$$
 (9)

由上式可得河北省 STIRPAT 模型:

$$C=X_1^{0.173}X_2^{-0.047}X_3^{-0.086}X_4^{0.145}X_5^{0.115}X_6^{0.232}X_7^{0.129}X_8^{0.017}X_9^{0.126}.$$
 (10)

可以看出:煤炭消费量每上升 1%, 碳排放量就提高 0.173%; 煤炭消费占能源消费总量的比重每上升 1%, 碳排放量下降 0.047%, 说明能源结构的调整对于碳排放量有一定的抑制作用; 单

位 GDP 能耗提高 1%, 碳排放量下降 0.086%, 说明技术进步对降低碳排放量起关键作用; 人均 GDP 每上升 1%, 碳排放量就提高 0.145%; 人口总数上升 1%, 碳排放量上升 0.115%; 第二产业在 GDP 中的占比每上升 1%, 碳排放量就提高 0.232%, 说明产业结构对碳排放量影响很大; 城镇人口占比每上升 1%, 碳排放量就提高 0.129%; 能源价格对碳排放量影响最小, 每上升 1%, 碳排放量就提高 0.017%; 研究与发展经费支出对碳排放量的影响系数为 0.126.

2.3 GM(1,1) 预测

根据 2005 年—2014 年河北省碳排放量的数据, 运用 GM(1,1) 模型对碳排放量进行预测, 预测方程为

$$\begin{aligned} a &= 0.083\,593, \quad b = 1\,055.273\,157; \\ \hat{x}(t+1) &= -11\,857.774\,493e^{-0.083\,593t} + 12\,623.914\,982. \end{aligned}$$
 (11)

预测结果如表 6 和图 1 所示.

表 6 2015—2022 碳排放量预测结果
Table 6 Carbon emission forecast from 2015 to 2022

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
碳排放量 $\times 10^{-4}/t$	19 405.27	20 549.73	21 837.10	23 286.26	24 920.70	26 769.31	28 867.42	31 258.14

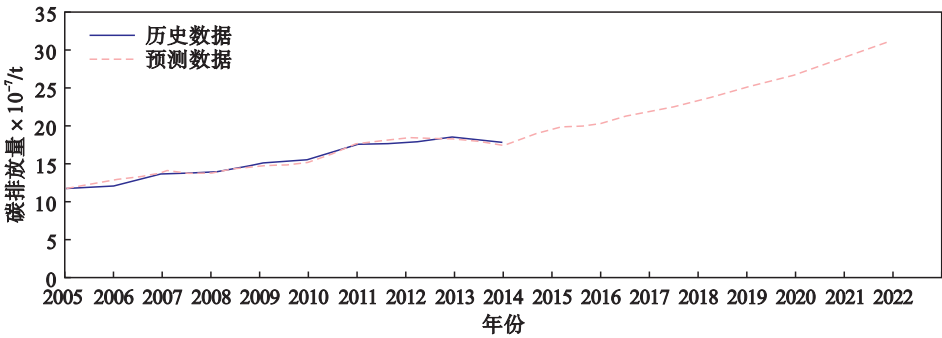


图 1 2005—2022 碳排放量的实际值和预测值拟合曲线
Fig. 1 Fitted lines of actual and predicted carbon emission values from 2005 to 2022

预测结果显示:小误差概率为 1, 均方差比值为 0.187 5, 说明预测有效. 河北省应当正视低碳发展的压力, 通过调整各影响因素来实现河北省低碳发展模式.

3 结 论

- 1) 2007 年—2014 年, 河北省从增长性耦合到弱解耦, 在波动中最后实现了强解耦, 说明河北省节能减排工作取得了一定的成效, 但要保持并推进低碳化的发展模式还需要进一步努力.
- 2) 河北省碳排放总量 2014 年首次出现下

- 降, 说明河北省的低碳模式发展良好, 能源效率有了一定程度的提高.
- 3) 产业结构对河北省碳排放量影响最大, 虽然近年来第二产业比重呈现下降趋势, 但产业结构调整仍是河北省低碳化发展的重要内容.
- 4) 煤炭消费量、人均 GDP、城镇人口占比、人口数对河北省碳排放量有促进作用, 能源价格和研究与发展经费支出对河北省碳排放量的影响系数较小, 没有起到一定的抑制作用.
- 5) 能源结构、能源强度对河北省碳排放量有一定的抑制作用, 因此河北省应当提高清洁能源消费量的比重, 加强低碳技术的发展, 逐步实现低

碳经济.

6) GM(1,1) 模型预测结果显示:应当重视河北省碳排放量的发展趋势,正视低碳发展的压力,通过调整各影响因素来实现河北省低碳经济.

参考文献:

[1] 宋晓辉,张裕芬,汪艺梅,等. 基于 IPAT 扩展模型分析人口因素对碳排放的影响[J]. 环境科学研究,2012,25(1): 109 – 115.
(Song Xiao-hui, Zhang Yu-fen, Wang Yi-mei, et al. Analysis of impacts of demographic factors on carbon emissions based on the IPAT model [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(1): 109 – 115.)

[2] 王永刚,王旭,孙长虹,等. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展[J]. 应用生态学报,2015,26(3): 949 – 957.
(Wang Yong-gang, Wang Xu, Sun Chang-hong, et al. Research progress on the application of IPAT model and its variants[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(3): 949 – 957.)

[3] 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.

[4] Waggoner P E, Ausubel J H. A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(12): 7860 – 7885.

[5] 陈操操,刘春兰,汪浩,等. 北京市能源消费碳足迹影响因素分析——基于 STIRPAT 模型和偏小二乘模型[J]. 中国环境科学,2014,36(6): 1622 – 1632.
(Chen Cao-cao, Liu Chun-lan, Wang Hao, et al. Examining the impact factors of energy consumption related carbon footprints using the STIRPAT model and PLS model in Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2014, 36(6): 1622 – 1632.)

[6] Shi A. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 – 1996: evidence from pooled cross-country data [J]. *Ecological Economics*, 2003, 44(1): 24 – 42.

[7] Shahbaz M, Loganathan N, Sbia R, et al. The effect of urbanization, affluence and trade openness on energy consumption: a time series analysis in Malaysia [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 47(11): 683 – 693.

[8] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[R]. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1990.

[9] Duro J A, Padilla E. International inequalities in per capita CO₂ emissions: a decomposition methodology by Kaya factors [J]. *Energy Economics*, 2006, 28(2): 170 – 187.

[10] 林伯强,刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略[J]. 经济研究,2010(8): 66 – 78.
(Lin Bo-qiang, Liu Xi-ying. China ’ s carbon dioxide emissions under the urbanization process: influence factors and abatement policies[J]. *Economic Research Journal*, 2010(8): 66 – 78.)

[11] Kraft J, Kraft A. On the relationship between energy and GNP [J]. *Journal of Energy and Development*, 1978, 3: 401 – 403.

[12] Yu E S H, Choi J Y. The causal relationship between electricity and GNP: an international comparison [J]. *Journal of Energy and Development*, 1985, 10: 249 – 272.

[13] Glasure Y U, Lee A R. Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and electricity: the case of South Korea and Singapore [J]. *Resource and Electricity Economics*, 1997, 20(1): 17 – 25.

[14] Soytaş U, Sari R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets [J]. *Energy Economics*, 2003, 25(1): 33 – 37.