

Influencing Factors and Peak Values of Carbon Emission Based on STIRPAT Model

—Taking Shandong Province as an Example

Zhenyue Fan, Mengzhen Zhao, Weifeng Gong, Chuanhui Wang

School of Economics, Qufu Normal University School, Rizhao Shandong
Email: gongweifeng0539@163.com

Received: Apr. 19th, 2020; accepted: May 11th, 2020; published: May 18th, 2020

Abstract

Based on the population, GDP per capita, energy intensity, energy structure, level of foreign investment, urbanization level, and industrial structure from 2000 to 2017, this paper constructed an improved STIRPAT model and analyzed the relationship between total carbon emissions and various influencing factors using the ridge regression. And on this basis, through the scenario analysis method, for different scenarios, Shandong Province predicted the time to reach the peak of carbon emissions. The research results show that population size, GDP per capita, energy structure, level of foreign investment, urbanization level, and industrial structure have a positive correlation with the carbon emissions of Shandong Province, but there are differences in the impact of each. The energy intensity has a negative correlation with carbon emissions. According to the scenario analysis of the STIRPAT model, it is predicted that about 75% of the probability of Shandong Province will reach the target of peak carbon emissions by 2030. Finally, in light of the above analysis, it proposes to adjust the energy structure, promote technological innovation, and promote energy-saving emission reduction measures.

Keywords

Carbon Emission, Peak, STIRPAT Model

基于STIRPAT模型的碳排放影响因素及峰值研究

——以山东省为例

范振月, 赵梦真, 公维凤, 王传会

曲阜师范大学经济学院, 山东 日照

Email: gongweifeng0539@163.com

收稿日期: 2020年4月19日; 录用日期: 2020年5月11日; 发布日期: 2020年5月18日

摘要

本文基于2000~2017年的人口数量、人均GDP、能源强度、能源结构、外商投资水平、城镇化水平以及产业结构的情况, 构建了改进后的STIRPAT模型, 运用岭回归估计方法, 分析碳排放总量与各影响因素之间的关系。并在此基础上, 通过情景分析法, 对于不同情景下, 山东省达到碳排放峰值的时间进行了预测。研究结果表明, 人口规模、人均GDP、能源结构、外商投资水平、城镇化水平以及产业结构等影响因素于山东省的碳排放量皆存在正相关的关系, 但每个的影响程度存在着差异。而能源强度与碳排放量呈现负相关的关系。根据STIRPAT模型的情景分析, 预测出山东省大约有75%的概率会在2030年之前达到碳排放峰值的目标。最后鉴于上述分析, 提出了调整能源结构、促进技术创新、提倡节能减排等相应的节能减排对策。

关键词

碳排放, 峰值, STIRPAT模型

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国不仅是世界上经济发展最为迅速的国家之一, 而且其碳排放量也位居世界前列, 而碳排放增多所引起的环境问题急需国家制定相应的政策法规, 但这不仅只是要从国家层面上采取相应措施, 各地区也应该在稳步推进自身发展的同时全面考虑如何防止碳排放量增长的政策, 这样才能既满足当前经济水平可持续发展的需要, 又能实现低碳可持续发展的要求。

全世界各个国家在减缓气候恶劣变化, 推动经济朝向低碳可持续方向发展方面都在做出积极响应。中国作为发展速度最快的国家之一, 在国民经济快速增长的同时, 中国的能源消耗量所引起的碳排放量也位居世界前列。为了应对碳排放引起的气候问题, 中国提出了很多相关的、有针对性的战略及方针政策。党的“十九大”报告指出, “美丽中国”已成为中华民族追求的新目标。各级政府和企业应该主动采取节能减排、发展可再生能源、增加森林碳汇、建立全国碳排放权交易市场、完善气候变化立法的措施来应对新目标的要求。在这五年来, 实践绿色发展观, 改善生态环境, 建设美丽中国, 是中国为世界带来的重大贡献。并且中国还积极参与了国际治理活动, 在《巴黎协定》框架下, 中国提出了国家自主贡献的四大排放要比2005年下降60%至65%。针对我们国家的总体目标, 我国各个省、直辖市以及自治区等都相应提出了各地方的节能减排政策措施。本文以山东省作为研究对象, 在2016年, 为响应国家发展和改革委员会向各省发布的减排目标, 相应制定了《山东省“十三五”节能减排综合工作方案》来应对我省的碳排放现状。因此, 找出影响山东省碳排放量的影响因素, 预测山东省碳排放未来发展趋势, 研究其峰值出现的时间等一系列的问题刻不容缓。

2. 文献综述

研究碳排放问题涉及了许多研究方法及相关模型,国内外有许多学者运用不同的方法对其进行了深入的研究。本文梳理了大量国内外学者的研究成果之后发现,现有研究主要是从 STIRPAT 模型和结构分解法等方法进行的。在 STIRPAT 模型及 IPAT 模型的应用方面,从最初的,研究人口因素对环境的影响的过程中广泛应用的 Ehrlich 和 Holdren 共同创建的 IPAT 方程,其主要作用为在保持其他因素不变的情况下,只需更改其中一个因素即可分析问题[1]。日本学者杨毅提出将 IPAT 模型应用于温室气体排放的因素研究上来。然而,国外学者约克却发现 IPAT 模型存在着不足点:在 IPAT 模型中如果其他各个变量保持不变,只改变其中一个变量时,从而最后导致该变量只能是所求因变量的等比例值[1][2]。为了克服 IPAT 的缺点,Leontief 和 Ford 首先提出使用 SDA 方法解决环境问题。该方法可以用于测量各种因素对环境的各种直接或间接的影响[2]。

对 IPAT 模型的拓展,得到的非线性的 STIRPAT 模型,近几年国内外学者对于此方法的应用也较多。比如渠慎宁等人采用 STIRPAT 模型研究了我国碳排放峰值问题[3]。郭运动等也运用了 STIRPAT 模型研究出影响上海市碳排放量的因素包括人口数量及其城市化速度[4]。李旭东等人通过构建修正的 STIRPAT 模型,采用情景分析方法,预测了贵州省出现碳排放峰值的时间[5]。刘晓燕也是运用的 STIRPAT 模型分析我国工业碳排放的影响因素,其结果表明:对碳排放规模和碳排放的强度能够产生促进作用的有煤炭消费所占比重,而对其产生抑制作用的是研发强度和能源效率;特别的是,固定资产投资对两者的作用是反方向的,其对碳排放规模起到促进作用,但是抑制了碳排放强度[6]。

此外,国内外还有许多学者研究碳排放问题使用结构分解分析的方法。如林伯强等使用 LIMI 方法来分解影响二氧化碳排放的因素,他们的研究结论为,对二氧化碳的排放量能产生显著影响的因素为收入强度和能源强度这两个方面[7]。冯宗宪等人采用的是投入产出法结构分解模型来分析碳排放影响因素,并采用情景分析法预测了陕西省碳排放峰值出现的时间[8]。付云鹏、马树才以及宋琪等人进行了基于 LMDI 的中国碳排放影响因素研究,结果显示:不同影响因素对碳排放的影响是不同的,如经济发展水平、能源结构以及人口数量对碳排放量的增加起到促进作用,而能源强度和产业结构对碳排放的增长却是起到抑制作用[9]。郭朝先也是在使用 LMDI 结果分解法分别从产业和地区两个层面对我国从 1995 至 2007 年的碳排放影响因素进行分析,他的研究结果发现:国内生产总值的持续增长将会导致国家排放量的持续上涨,遏制碳排放增长的一种方法为提高能源效率[10]。刘益平等人进行了基于 LMDI 方法的江苏省工业碳排放的影响因素分析,研究结果表明,能源强度和能源技术强度对碳排放产生阻碍作用[11]。林金钱(2016)运用 LMDI 分解法探究了广东省碳排放影响因素与峰值预测分析[12]。宋敏、郭清卉运用 LMDI 分解分析法对陕西省能源消费的碳排放影响因素进行了研究分析[13]。

综上所述,对于碳排放这一问题的研究成果有很多不同,然而碳排放峰值预测的结果大约出现在 2030 年前后。本文以山东省为例,运用 STIRPAT 模型分析影响山东省碳排放的影响因素,测算山东省碳排放未来发展趋势,预测碳排放峰值在不同情景下的出现时间,根据分析结果为山东省提出各种节能减排的有效措施。

3. 山东省碳排放影响因素分析

对山东省的影响因素进行分析的方法有很多,本文采用的是修正的 STIRPAT 模型。STIRPAT 模型是从 IPAT 模型拓展而来的,更具灵活性。本部分先对原始模型进行分析,然后进行修正,最终通过修正了的 STIRPAT 模型,得出各个碳排放影响因素的分析结果。

3.1. 模型分析

3.1.1. STIRPAT 模型

STIRPAT 模型是在 IPAT 模型的基础进行拓展而得到的一种非线性模型,它可以引入多个独立自变

量从而更加准确地对相应因变量进行有效估算,其模型等式为:

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (1)$$

在式(1)中, I 代表环境影响状况, P 代表人口数量, A 代表财富, T 代表技术水平。 a 是总系数, b 、 c 、 d 分别代表上述三者的指数, 而 e 是整个模型的误差。由式(1)发现, STIRPAT 模型具有更好的可塑性和适应性。为了在现实情况中引入更多自变量, 消除各解释变量之间的多重共线性, 可以对式(1)进行取对数分析, 从而更加全面的分析各个自变量对环境状况产生的影响, 即把公式变为:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (2)$$

3.1.2. 改进 STIRPAT 模型

本文为了更加全面地研究碳排放的影响因素, 在使用 STIRPAT 模型的时候, 除了考虑人口规模(P)、人均 GDP(A)和能源强度(T)这三个变量的作用以外, 本文还增加了能源结构、产业结构、城镇化率、外商直接投资等解释变量。来分析各个变量的变化对碳排放量的会产生何种影响作用。据调查在山东省第一次能源消费中煤炭和石油的消耗比重较大, 因此本研究添加煤炭所占比重($R1$)以及石油所占比重($R2$)。此外。相比较与第一、第三产业而言, 第二产业的能源强度更高, 因此本研究使用第二产业产值占 GDP 的比重(IS)来衡量产业结构。最后, 本研究使用城镇化率(U)来衡量城市化水平, 使用外商直接投资(FDI)来分析贸易投资对碳排放产生的影响。基于以往的众多研究大多将经济发展水平分解为一次方项和二次方项来进行考察。基于以上解释变量对 STIRPAT 模型进行拓展, 所得结果如下:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + e \ln FDI + f \ln R1 + g \ln R2 + h \ln U + i \ln IS + \mu \quad (3)$$

3.2. 数据来源

在本文拓展 STIRPAT 模型式(3)中, I 、 P 、 A 、 T 分别代表的是山东省的碳排放总量、山东省多年来的人口、山东省多年的人均 GDP 以及山东省能源强度, $R1$ 代表煤炭第一次能源消耗中的比例, $R2$ 代表的是石油在第一次能源消耗的比例, IS 代表山东省历年第二产业产值占 GDP 的比重, U 代表山东省城镇化率, FDI 代表外商直接投资水平。

以上的各个变量相对应的历年数据都来源于《山东省统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国技术统计年鉴》等, 本文选取了 2000 年至 2017 年的数据作为统计样本。并采用排放系数法对山东省历年的碳排放总量(I)进行估算。其中, 碳排放总量的计算公式为:

$$C = \sum_{i=1}^n E_i \cdot F_i \quad (4)$$

式(4)中, C 表示碳排放量, E_i 代表第 i 种能源消耗量, F_i 代表 i 种能源碳排放系数。能源消耗的种类主要是煤炭、石油两种, 它们的碳排放系数分别为 0.75、0.5731。

通过对查询 2000~2017 年《山东统计年鉴》得到历年山东省一次能源消耗中煤炭和石油的消耗比重、历年人口数量、历年 GDP 及人均 GDP。然后根据式(4)计算得到山东省历年碳排放总量, 详细数据见下表 1。

Table 1. Statistics of various variables related to carbon emissions in Shandong Province from 2000 to 2017
表 1. 2000~2017 年山东省碳排放各相关变量统计情况

变量	样本数	平均值	标准差	最大值	最小值
I /万吨	18	20,199.86	7084.04	6993.83	28,148.34
P /万人	18	9469.944	322.1199	8997	10,006
A /万元/人	18	3.7172967	2.190512	0.9326	7.2807
T /万吨标准煤/万人	18	0.990933	0.3034282	0,5326	1.3887

Continued

<i>R1</i> %	18	77.12333	2.964978	70.47	81.84
<i>R2</i> %	18	19.96333	2.980462	14.89	25.36
<i>IS</i> 万元/万人	18	0.5236722	0.0395058	0.4535	0.5715
<i>U</i> %	18	0.4087778	0.1135687	0.2684	0.6056
<i>FDI</i> 亿元	18	6149.5	1623.219	3371	8847

根据数据分析发现,山东省 2000 年至 2013 年的碳排放总量一直在增长,而自山东省发布了《山东省 2014~2015 年节能减排低碳发展行动实施方案》后,碳排放总量在 2014~2017 年有所下降。在 2000~2017 年中,山东省的人口总量一直增长,人均 GDP、外商直接投资、城市化水平也逐年增长,但是,山东省第二产业占比比较稳等,山东省的能源强度也是一直在下降。从表 1 中发现,山东省的能源结构过于简单,煤炭和石油占据了一次能源消费总量的 97%以上,而且煤炭更是在能源消耗中占据了 80%左右。

3.3. 实证分析

首先通过 stata14.0 对变量 *P*, *A*, *T*, *IS*, *U*, *FDI* 进行对数化处理得到变量 $\ln P$, $\ln A$, $\ln T$, $\ln IS$, $\ln U$ 和 $\ln FDI$ 。然后,通过方差膨胀因子(*VIF*)对变量间的共线性进行检验,发现各变量的 *VIF* 值均远大于 10。见下表 2。

Table 2. Variance inflation factors for variables
表 2. 变量的方差膨胀因子

变量	<i>VIF</i> 值
$\ln P$	597.83
$\ln A$	512.97
$\ln T$	65.17
$\ln IS$	41.19
$\ln U$	30.28
$\ln FDI$	40.61

这表明解释变量之间存在着严重的共线性,直接使用最小二乘法进行回归分析将无法得到准确地解释变量与碳排放之间的关系。本文为处理上述问题,采用专门用于共线性数据分析的有偏估计回归方法岭回归法。岭回归法对病态数据的耐受性远远强于最小二乘法,它通过放弃最小二乘的无偏性,丢弃少量信息和精度换来方程系数的合理估计,结果更符合实际。通过 SPSS.19 软件对上述解释变量进行拟合回归,得出山东省数据回归中 *K* 值与对应的 R^2 以及模型的岭迹图,具体如下图 1 所示。

由上图 1 所示的 *K* 值对应的 R^2 值,可以看出,二者呈现出负相关的关系。模型 *K* 值在 0~1 之间。当 $K = 0$ 时,模型系数即为普通最小二乘法所得到的系数。而当 *K* 值尽可能小时, R^2 就尽可能大。如图 2 所示, *K* 值和模型岭回归系数图可以根据模型的稳定性来判断 *K* 值。根据图 2 可知 *K* 值在 0~0.2 之间是,对应的各变量岭回归系数处于不稳定的状态,变化趋势和变化的方向都处于不稳定的状态,而这种不稳定的状态一定也会导致模型不稳定。当 *K* 值处于 0.2~0.6 之间是,岭回归系数基本趋于稳定。所以, *K* 值应该在这个范围内选取。对应图 1,当 $K = 0.2$ 时,所对应的 R^2 较大趋近于 1,因此,这时对应的模型拟合效果最佳。综上所述,我们下一步应选取岭回归参数 $K = 0.2$,再利用 SPSS 软件进行岭回归你和分析,拟合情况如下表 3 所示。

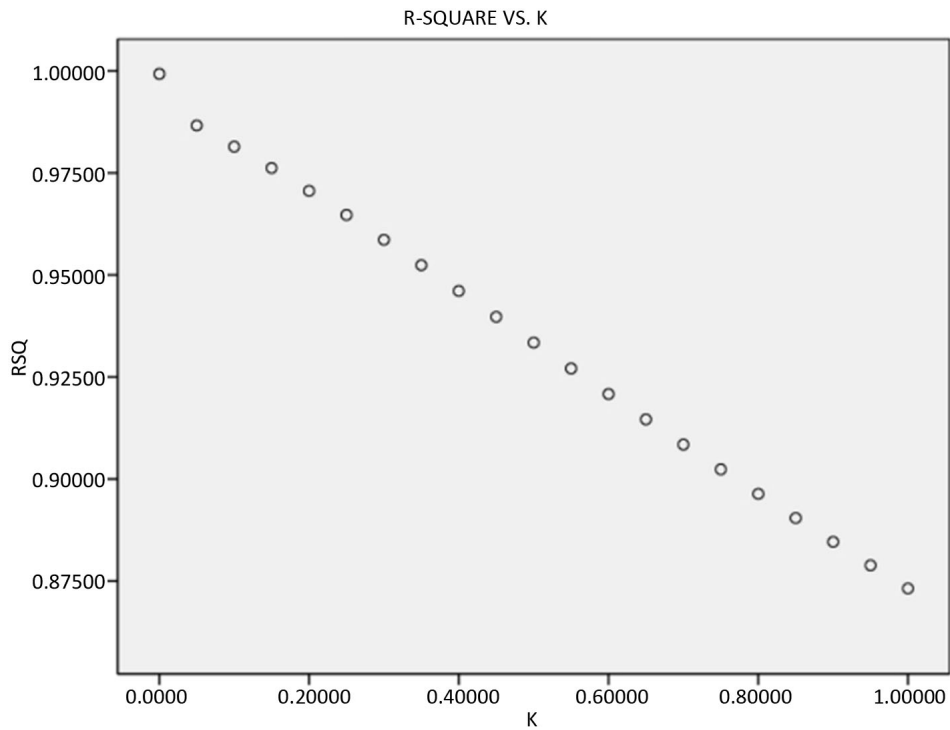


Figure 1. The K value corresponding to the R^2 value of the ridge regression in Shandong Province
图 1. 山东省岭回归 K 值对应 R^2 值

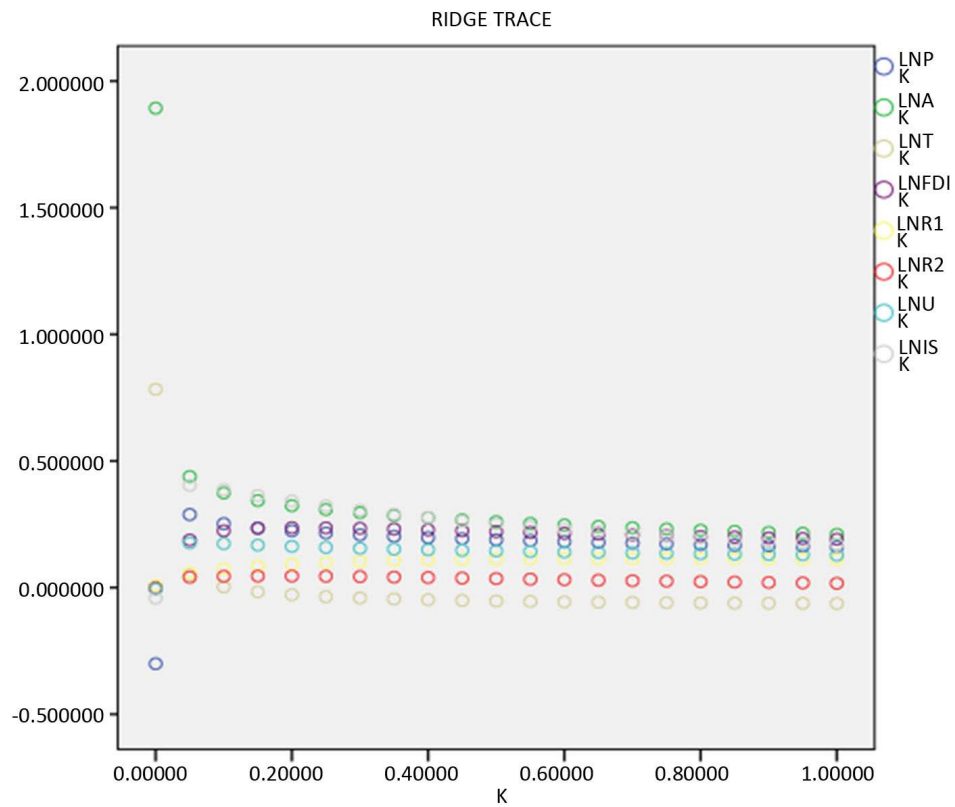


Figure 2. The ridge trail map of Shandong Province
图 2. 山东省岭回归岭迹图

Table 3. Results of ridge regression analysis in Shandong Province**表 3.** 山东省岭回归分析结果

模型	R	R^2	修正的 R^2	标准估计误差
	0.985	0.971	0.944	0.106
	B	SE(B)	Beta	B/SE(B)
常量	-19.078	2.766	0.000	-6.897
$\ln P$	2.969	0.286	0.224	10.381
$\ln A$	0.207	0.017	0.323	12.171
$\ln T$	-0.376	0.435	-0.028	-0.865
$\ln FDI$	0.380	0.056	0.237	6.770
$\ln R1$	0.135	0.154	0.046	0.873
$\ln R2$	0.038	0.021	0.093	1.817
$\ln U$	0.274	0.708	0.163	3.868
$\ln IS$	2.017	0.288	0.342	7.002

Table 4. Shandong ridge regression analysis of variance**表 4.** 山东省岭回归方差分析

	df	平方和(ss)	均方(MS)	F 值	$Sig.F$
回归	8	3.353	0.419	37.148	0.000
残差	9	0.102	0.011		

当 $K = 0.2$ 时, 模式中 $R = 0.985$, 修正的 $R^2 = 0.944$, 这都充分体现了此次岭回归你和结果比较好。同时可决系数 $R^2 = 0.971$, 说明在 $K = 0.2$ 是所得方程可以减少因变量 97.1% 的方差波动, 在表 4 中模型 F 值为 37.148, $Sig.F$ (显著性水平) 为 0.000, 又一次说明了模型的拟合效果非常好。从而最终得到的山东省的回归方程为:

$$\ln I = -19.078 + 2.970 \ln P + 0.207 \ln A - 0.038 \ln T + 0.380 \ln FDI + 0.038 \ln R2 + 0.135 \ln R1 + 0.274 \ln U + 2.017 \ln IS \quad (5)$$

3.4. 结果分析

通过上述式(5)拟合模型得知, 人口规模、人均 GDP、外商直接投资水平、煤炭消耗比重、石油消耗比重、城镇化水平、产业结构等影响因素于山东省的碳排放量皆存在正相关的关系, 其相对应的回归系数分别为 2.970, 0.207, 0.380, 0.135, 0.038, 0.274, 2.017。也就是说, 随着以上解释变量每增加 1 个单位, 相对应的碳排放量将分别增加以上数值单位。模型中能源强度的回归系数为负值, 则能源强度与山东省的碳排放量是负相关的关系。即碳排放量会随着能源强度的提高而降低, 根据回归结果能源强度每增加 1%, 碳排放量将会减少 0.038%。

人口数量(P)对碳排放的影响作用位居第一, 并且它每增加 1% 就会使得碳排放总量增加 2.970%。其次是产业结构, 外商投资水平, 城镇化水平, 人均 GDP, 煤炭消耗比重。而石油消耗比重影响较小。除了能源强度的增强会使得碳排放量减少, 其他影响因素的增加都会带来碳排放量的增多。在实际生活中, 我们应该尽可能地减少影响较大的正相关解释变量, 尤其是人口数量, 产业结构等因素, 相应的要不断提高技术水平, 加大能源强度。

4. 碳排放峰值预测

基于以上分析, 为了更加准确地预测山东省的碳排放量, 有必要了解清楚山东省未来的上述解释变量的变化情况。而且碳排放量会受到多种因素的干扰, 所以会容易产生不同的发展趋势。因此, 本文采用的情景分析方法可以有效的避免大的偏差, 即采用系统科学的方法分离出模型中可预测的部分, 大幅度的降低预测的不确定性, 这是为了更好的预测未来碳排放的发展趋势。

4.1. 情景设定

根据上文对山东省 2000~2017 年的碳排放影响因素的历年数据的统计和计算得知, 山东省多年来的各相关数据年平均变化率。见下表 5。

Table 5. Annual average growth rate of relevant data in Shandong Province

表 5. 山东省各相关数据年平均增长率

	人口数量	人均 GDP	能源强度	GDP	煤炭消耗量	石油消耗量
年平均增长率	0.62%	11.27%	-5.14	9.11%	-0.39%	6.11%

根据以上各数据的年平均增长率假设出各个情景各个年份的增长速率, 将人均 GDP 和能源强度分别设定高增长情景和低增长情景两种, 具体的情景及其增长速率设定, 见下表 6。并结合不同的假设方案来获得四种情景, 包括 A 低 T 低情景、A 低 T 高情景、A 高 T 高情景、A 高 T 低情景。

Table 6. Assumption of the growth rate of various variables of carbon emissions in Shandong Province

表 6. 山东省碳排放各变量增长率假定

	人口年增长率	人均 GDP 增长率		单位 GDP 能源消耗量年增长率	
		高情景	低情景	高情景	低情景
2010~2020	0.6%	7.5%	6%	-4.5%	-4%
2021~2025	0.5%	6%	5.5%	-4%	-3.5%
2026~2030	0.4%	5.5%	5%	-3.5%	-3%
2031~2035	0.3%	5%	4.5%	-3%	-2.5%
2036~2040	0.2%	4.5%	4%	-2.5%	-2%

4.2. 情景分析预测

根据假设的增长率计算各个相关数据, 并将各个相关数据代入上文所得修正模型进行碳排放总量预测结果核算。

随着经济发展和社会生产力水平的不断提高, 虽然我省的人口总量在不断地增加, 但人口增长率却是在逐步降低的。根据山东省“十三五”规划, 预计到 2020 年, 全省年均人口自然增长率达到 8% 左右, 全省常住人口总量达到 1.025 亿人次左右。因此根据这一预设, 本文进行了人口数量的保守预测。

下图 3, 为山东省在不同情境下进行预测所得到的人均 GDP 数值, 人均 GDP 随着基数的不断增长, 其增长率正在下降, 在低情景下中进行预测的人均 GDP 增长率计算为过去五年最低增长速率的一半, 而在高情景下进行预测的人均 GDP 增长速率是根据过去五年最高增长速率的一半计算的, 并且这两个情景下的都按照每五年下降 0.5% 增长速率来计算未来的人均 GDP 数值。

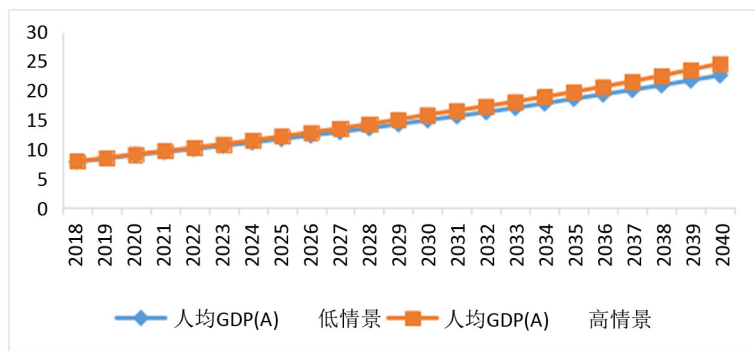


Figure 3. Forecast trends of GDP per capita in different scenarios

图 3. 不同情景人均 GDP 预测趋势

根据 2000~2017 年的统计数据得知，能源强度每年都在减小，所以在进行情景预测时应该按照下列两种方式进行预测，即在低速发展的情景下，能源强度下降的速度较慢，而在高速发展的情境下能源强度下降速率较大。因此，图 4 显示了不同情景下能源强度变化趋势。

从下图 4 可以看出，低情景中山东省的预测能源强度高于高情景中的预测能源强度，这是因为能源节约程度越高，就会使得单位能源消耗越低，从而促使创造等量财富所需能源数量越少。

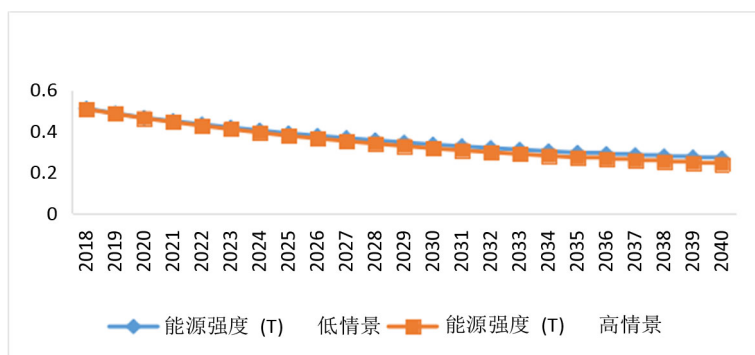


Figure 4. Trends of energy intensity prediction in different scenarios

图 4. 不同情景下的能源强度预测趋势

把以上各相关数据的预测结果带入所得到的修正模型中，得到在不同情景下的碳排放总量预测结果，如下图 5。

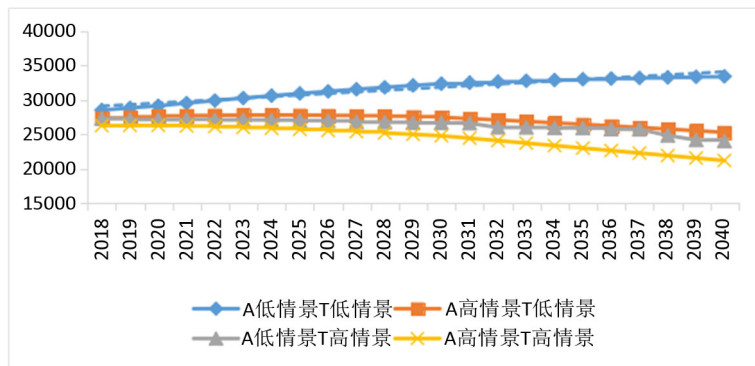


Figure 5. Total carbon emission prediction results in different scenarios

图 5. 不同情境下的碳排放总量预测结果

在上述所有情景的预测下，山东省碳排放量总体趋势都为先上升后下降，并在这个过程中，出现了各个情景下不同的碳排放峰值。

其中，在 A 低情景 T 低情景的假设下，根据预测结果趋势图得知，山东省的碳排放量峰值出现在 2040 年，在 A 高情景 T 低情景中，山东省的碳排放量峰值出现在 2029 年，在 A 低情景 T 高情景中，山东省的碳排放量峰值出现在 2024 年，在 A 高情景 T 高情景中，山东省的碳排放量峰值出现在 2020 年。

5. 结论与对策

通过上文对山东省碳排放影响因素的实证分析及其峰值预测，表明了碳排放规模受到经济发展水平、能源消费结构以及能源强度的影响较大，而且山东省有较大可能在 2030 年之前达到碳排放峰值。因此，如果山东省要想实现节能减排的目标，为建设“十九大”所提出的建设富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国的伟大历史使命贡献一份力量，就必须尽快落实与之相关的减排政策，尽可能的从优化能源结构、鼓励节能减排、进行技术创新等方面达到节能减排的目标要求。

5.1. 优化能源结构，开发清洁能源

目前，山东省对于煤炭和石油的消耗量占有绝对的比重，而通过上述拟合结果可知，煤炭消耗对于碳排放量的增多有着不可忽视的影响作用。因此为响应节能减排的号召，改变山东省能源结构的现状，降低其中煤炭的使用量，提高天然气的消耗比重，加大力度发展我省清洁能源的开发和使用，从而实现能源结构的优化升级的目的。

但是，要想在较短的时间内较大的改变我省的能源结构的不合理状况，难度还是比较大的，如果只将目光放在“低碳”而忽略经济的发展，这也是不可取的。因此最理想的状态是我们既要努力发展我省经济又必须全力确保节能减排的工作稳步推进。所以，要继续丰富能源结构，改变单一的现状，大力发展风能、太阳能、潮汐能以及核能等可再生能源的使用。政府可以通过加大这些方面的投资，减少税收，进行财政补助等一系列的措施来促进低碳技术的创新。对于一些高排放，高消耗的中小企业，政府应当加大准入难度，设定相应的惩罚政策，降低最高贷款额度等方式，促使这些企业进行技术的改进，把不符合山东省碳排放要求的企业淘汰掉，或者推动大中型企业进行吞并，这允许市场上的企业在考虑经济收益的同时也必须考虑其排碳成本和环境中的风险。

5.2. 促进技术进步，提高能源利用效率

要想提高能源的利用效率，更多的还是取决于技术的进步与创新，因此进行技术创新，改变我国在国际上过度依赖原始技术的印象迫在眉睫。首先，山东省应当对现有的化石燃料利用技术进行引进或者创新，提高化石能源利用效率，降低我省的碳排放。其次，山东省应当加大对相关研究单位的投入，提高其研究力度，加大对于碳排放的人才培养，所以我们将继续完善低碳研究体系，看看中国与发达国家之间的研究差距。最后，还应当加大与国外低碳研究的成熟项目进行合作，提高我国企业低碳经营理念的完善，推动我国企业技术进步，促使节能减排体系走向成熟。

但在引进先进技术促进自身发展的同时，我们也应当加大防范意识，对于高排放的项目进行严防死守，尽量杜绝发达国家的碳排放转移手段。对于高耗能、高污染的企业要进行严格防护，更多的吸引污染低的第一产业或技术水平较高的第三产业。

5.3. 大力宣传节能减排，养成低碳习惯

政府为响应国家节能减排目标必须认真贯彻落实相关政策法规，加大力度宣传低碳节能环保工作，鼓励居民采用节能减排的生活方式，大力推动节能电器的研发工作，加强节能家电在市场上的普及。比

如：政府可以对节能家电采取补贴政策，大力宣传家电新旧替代政策；提倡干部、职工的节能参与意识，增强机关干部职工的节能意识，营造良好的节能减排氛围，给人民群众做榜样，做节能减排的领头羊；加强税收政策，对排污量较大的机动车辆收取一定的排污费用，控制这类大排量汽车的市场占有率；完善共享汽车、共享自行车这类的共享经济体制，完善各个城市公共交通体系，鼓励居民绿色出行，节省能源及经济投资消耗等。

基金项目

国家自然科学基金项目(71804089)、教育部人文社科基金项目(18YJCZH034)、山东省自然科学基金项目(ZR201709190351)提供资助。

参考文献

- [1] Yoichi, K. (1989) Impact of Carbon Dioxide Emissions on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, Paris, Vol. 13, 35-47.
- [2] Hammond, G.P. and Norman, J.B. (2012) Decomposition Analysis of Energy-Related Carbon Emissions from UK Manufacturing. *Energy*, **41**, 220-227. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.035>
- [3] 渠慎宁, 郭朝先. 基于 STIRPAT 模型的中国碳排放峰值预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 10-15.
- [4] 郭运功, 汪冬冬, 林逢春. 上海市能源利用碳排放足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 103-108.
- [5] 芦颖, 李旭东, 杨正业. 贵州省能源碳排放现状及峰值预测[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(11): 173-180.
- [6] 刘晓燕. 基于 STIRPAT 模型的工业能源消费碳排放影响因素分析[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 27-31.
- [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): 27-36.
- [8] 冯宗宪, 王安静. 陕西省碳排放因素分解与碳峰值预测研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2016, 37(8): 112-119.
- [9] 付云鹏, 马树才, 宋琪, 郜健. 基于 LMDI 的中国碳排放影响因素分解研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(4): 7-17.
- [10] 郭朝先. 中国碳排放因素分解: 基于 LMDI 分解技术[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 4-9.
- [11] 韩钰铃, 刘益平. 基于 LMDI 的江苏省工业碳排放影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(12): 278-284.
- [12] 林金钱. 广东省碳排放影响因素分析与峰值预测[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2016.
- [13] 宋敏, 郭清卉. 基于 LMDI 方法的陕西省能源消费碳足迹因素分解研究[J]. 统计与信息论坛, 2015, 30(4): 60-64.