

基于 STIRPAT 模型的辽宁省碳排放影响因素研究

孙 义¹, 刘文超², 徐晓宇³

- (1. 中环联合(北京)认证中心有限公司, 北京 100019;
2. 沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167;
3. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 通过对 1998~2017 年统计数据发现: 辽宁省碳排放量起正向驱动的因素为人口数量、人均 GDP 和居民消费水平, 起负向驱动的因素为一次能源占比和碳排放强度, 弹性系数分别为 9.72、0.135、0.106、-0.389、-0.236。结果显示, 人口数量和居民生活水平的提高促进了碳排放的增长, 加快工业、民用领域节能低碳的技术升级, 将对碳排放起到抑制作用。

关键词: STIRPAT 模型; 碳排放; 影响因素; 弹性系数; 辽宁省

中图分类号: X196; X321

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.05.008

Study on the Influencing Factors of Carbon Emissions in Liaoning Province Based on the STIRPAT Model

SUN Yi¹, LIU Wenchao², XU Xiaoyu³

- (1. China Environmental United Certification Center, Beijing 100019, China; 2. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China; 3. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Based on the analysis of the statistical data from 1998 to 2017, the positive influencing factors of the carbon emissions in Liaoning Province were the population quantity, the GDP per capita and the consumption level of the residents, while the negative factors were the primary energy ratio and the carbon emission intensity. The elastic coefficients of the factors above were 9.72, 0.135, 0.106, -0.389 and -0.236, respectively. The results showed that the increasing of the population and the living standard promoted the carbon emissions. While the carbon emissions were limited by the upgrading of low-carbon technologies in industrial and civilian fields.

Keywords: STIRPAT Model; Carbon Emissions; Influencing Factors; Elastic Coefficient; Liaoning Province

CLC number: X196; X321

按照《国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知》^[1]要求, 辽宁省“十三五”期间单位地区生产总值二氧化碳排放降低目标为 18%, 平均每年需要降低 3.89%, 作为处在转型期的传统老工业基地, 摸清影响碳排放的主要影响因素不仅有助于实现区有助于产业结构与能源结构的调整, 同时有助于全省应对气候变化目标的制定。

1 研究思路

研究基于辽宁省主管部门发布的 1998~2017 年统计数据, 通过对历年碳排放总量与全省社会经济、能源消费和能源结构等变化情况的对比分析,

初步筛选出影响碳排放的驱动因素。然后, 采用最小二乘法进行多元线性逐步回归来拟合模型, 如共线性诊断的结果中存在自变量 VIF 值显著大于 10 的情况, 则采用岭回归^[2]方法对模型重新进行拟合, 本研究应用 SPSS 21.0 软件中的 Ridge Regression 程序对构建的回归模型进行岭回归分析。最后, 形成辽宁省碳排放影响因素及对应弹性系数的研究结论, 并提出未来低碳转型发展的意见与建议。

2 研究方法

2.1 数据来源

1998~2017 年原煤、原油、天然气能源消费总

收稿日期: 2020-02-08

作者简介: 孙 义(1982-), 男, 硕士、工程师。研究方向: 应对气候变化与环境管理。E-mail: 18532763@qq.com

引用格式: 孙 义, 刘文超, 徐晓宇. 基于 STIRPAT 模型的辽宁省碳排放影响因素研究[J]. 环境保护科学, 2020, 46(5): 43-46.

量,煤炭消费占比,人口数量,三次产业增加值,人均 GDP 及居民消费水平,取自 2018 年《辽宁省统计年鉴》^[3]。

原煤、原油和天然气折标系数取自《综合能耗计算通则: GB/T2589—2008》^[4],原油、天然气

的低位发热量来源于《中国能源统计年鉴 2012》,原煤低位发热量来源于《中国温室气体清单研究》^[5]。燃料单位热值含碳量与碳氧化率来源于《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[6]推荐缺省值,见表 1。

表 1 相关参数汇总

序号	燃料种类	折标系数	低位热值	含碳量/tC·GJ ⁻¹	碳氧化率/%
1	原煤	0.714 3 kgce·kg ⁻¹	19.570 GJ·t ⁻¹	0.026 2	93
2	原油	1.428 6 kgce·kg ⁻¹	41.816 GJ·t ⁻¹	0.020 1	98
3	天然气	1.3 kgce·m ⁻³	389.310 GJ·万Nm ⁻³	0.015 3	99

2.2 碳排放量计算

目前,我国碳排放量的计算主要遵循《省级温室气体清单编制指南(试行)》的基本方法见式(1)。

$$\text{温室气体排放量} = \sum (\text{EF}_i \times \text{Activity}_i) \quad (1)$$

式(1)中:EF 为排放因子,kg/TJ;Activity 为燃料消费量,TJ;*i* 为燃料类型。

本次研究采用全省一次能源消费量计算全省碳排放总量,其中,统计年鉴中涉及的一次能源包括:原煤、原油及天然气,计算结果见表 2。

表 2 历史年度碳排放量汇总表

<i>t/a</i>	原煤/10 ⁴ tce	原油/10 ⁴ tce	天然气/10 ⁴ tce	碳排放量/10 ⁴ t
1998	7 321	1 296	231	24 394
1999	7 140	1 481	231	24 344
2000	7 655	1 956	247	26 870
2001	7 643	2 455	228	27 587
2002	8 039	2 046	227	27 684
2003	8 985	2 149	263	30 791
2004	9 864	2 366	187	32 163
2005	9 186	3 105	193	32 171
2006	10 159	3 457	171	34 930
2007	11 535	3 561	189	38 814
2008	12 373	3 842	220	41 960
2009	13 266	4 089	218	44 634
2010	13 488	5 417	254	48 572
2011	14 039	6 231	520	55 962
2012	13 687	7 060	848	62 186
2013	12 802	5 773	1 025	60 177
2014	12 780	5 797	1 101	61 415
2015	12 564	6 358	735	56 112
2016	11 901	6 370	673	53 518
2017	11 859	6 551	824	56 253

2.3 模型建立

本研究选择 DIETZ et al^[7] 提出的改进后的非线性随机回归 STIRPAT 模型。该模型弥补了 Kaya 等式和 IPAT 模型存在的“所有因素同等程度影响碳排放”的不足,且本身可扩展,其中,指数的引入使 STIRPAT 模型分别考虑了人口数量、财富和技术因素的变动对环境的单独影响,消除了 IPAT 模型中同比例变动的问题,见式(2)。

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (2)$$

式(2)中:*I*、*P*、*A*、*T* 分别代表环境压力、人口数量、人均财富和技术;*a* 是模型系数;上标 *b*、*c*、*d* 分别是人口数量、人均财富和技术等驱动因素的指数;*e* 为模型误差。下标 *i* 标明不同的观测单元各异的模型参数。

STIRPAT 模型属于多自变量非线性随机模型,对公式(2)两边同时取对数变化见式(3)。

$$\ln I = \ln a + b(\ln P) + c(\ln A) + d(\ln T) + \ln e \quad (3)$$

式(3)中,以 $\ln I$ 为因变量, $\ln P$ 、 $\ln A$ 和 $\ln T$ 为自变量, $\ln a$ 为常数项, $\ln e$ 为误差项。根据弹性系数概念,当其他因素保持不变时,碳排放的影响因素(*P*、*A*、*T*)每变化 1%,将分别引起 *I* 变化 *b*%、*c*% 和 *d*%。

3 实证分析

通过分析辽宁省 1998 ~ 2017 年统计数据可以发现:辽宁省能源消费总量 2012 年前增幅显著,1998 ~ 2012 年间标准煤由 8 874 增加到 2 2314 万 t,2013 ~ 2017 年能源消费总量小幅波动,2017 年标准煤消耗量为 2 0251 万 t;在能源种类构成方面,煤炭占一次能源比重不断降低,从 1998 年的 82.75%

降低至 2017 年的 61.66%，这与全省碳排放量的变化呈现负相关；天然气占比低，其中 2014 年最高，占比达到 5.35%，2017 年为 4.07%。

1998~2017 年间，辽宁省碳排放量变化趋势与能源消费变化基本一致，1998~2012 年呈现快速增长态势，排放量由 24 394 增长至 62 186 万 t。2013~2017 年间，全省碳排放总量呈波动下降趋势，2017 年排放量为 56 253 万 t，较 2012 年下降 9.54%。与碳排放变化趋势不同，辽宁省碳排放强度呈现总体下降趋势，从 1998 年 6.29 t/万元降至 2017 年的 2.40 t/万元。

社会发展层面，研究期内辽宁省人口变化不显著，1998 年为 4 090 万人，2017 年为 4 197 万人，

20 年仅增长 106 万人。辽宁省 GDP 与人均 GDP 和居民消费水平变化趋势基本相同，呈总体增长态势，其中，GDP 从 1998 年的 3 882 亿元增加到 2017 年的 23 409 亿元，人均 GDP 从 1998 年的 9 415 元增加到 2017 年的 53 527 元，居民消费水平从 1998 年的 3 828 元增加到 2017 年的 24 866 元，三者 2017 年数据较 1998 年均增长 6 倍左右。

产业结构方面，辽宁省 2011 年第二产业占全省比重最高，超过 55%，2017 年下降至 39.30%，降幅显著；与其变化相反的是第三产业占比，到 2017 年末，达到 52.57%，第三产业已经成为全省经济发展的主导产业。通过对上述指标与碳排放量的关联分析，本研究 STIRPAT 模型拟选择变量见表 3。

表 3 模型中的变量描述

变量	分类	名称	符号	指标定义
因变量		碳排放量	C	辽宁省碳排放量
		人口总量	P	总年末人口数
自变量	规模因素	经济水平	A	人均 GDP
		居民消费水平	R	元/人
		第二产业占比	Ind2	第二产业增加值/地区生产总值
	结构因素	能源结构	S	煤炭消费量/一次能源消费总量
		碳排放强度	T	地区碳排放量/地区总产值

对碳排放量及其解释变量进行相关性分析，结果显示，表示产业结构的第二产业占比与碳排放量相关性不显著，因此将第二产业占比从解释变量中剔除。由于解释变量较多，可能存在共线性问题，因此使用 SPSS21.0 对碳排放量及其解释变量做共线性诊断，结果发现除能源结构外，其他解释变量均存在共线性，为消除共线性对回归结果的影响，本文采用岭回归分析方法。取 k 从 0 到 1，岭回归输出结果见表 4。

$k=0.75$ 时，各解释变量稳定，因此当 $k=0.75$ 时， $R^2=0.901$ 岭回归方程见式(4)。

$$\ln C = 9.72 \ln P + 0.135 \ln A + 0.106 \ln R - 0.389 \ln S - 0.236 \ln T - 71.881 \quad (4)$$

验证该预测模型的有效性，基于辽宁省 1998~2017 年度数据通过模型计算得到碳排放的方程预测值，并对碳排放实际值与预测值进行配对样本 T 检验，检验结果显示， p 值为 0.299，大于显著性水平 0.05，碳排放量预测值与实际值相关系数为 0.964，说明根据得到的模型计算的辽宁省碳排放值

与实际情况没有显著差异，方程预测效果较好。

表 4 辽宁省碳排放 STIRPAT 模型的岭回归结果

变量	系数	t 值	$\text{sig.}t$
常数	-71.880	-5.500	0.000
$\ln P$	9.720	6.360	0.000
$\ln A$	0.135	10.500	0.000
$\ln R$	0.106	6.520	0.000
$\ln S$	-0.389	-2.166	0.048
$\ln T$	-0.236	-9.376	0.000
R^2		0.901	
F 值		25.462	
$\text{Sig.}F$		0.000	

式(4)可知，辽宁 1998~2017 年能源消费碳排放的驱动因子人口、人均 GDP、居民消费水平、一次能源占比和碳排放强度的弹性系数分别为 9.72、0.135、0.106、-0.389 和 -0.236，分别表示人口增加 1%，碳排放量增加 9.72%；人均 GDP 增加 1%，碳排放量增加 0.135%；居民消费水平增加 1%，碳排放

量增加 0.106%; 煤炭占一次能源比重增加 1%, 碳排放量增加-0.389%; 碳排放强度增加 1%, 碳排放量增加-0.236%。从上述定量分析结果来看, 对碳排放量起正向驱动的因子为人口数量、人均 GDP 和居民消费水平, 起负向驱动的因子为一次能源占比和碳排放强度。

4 结论与建议

1) 碳排放强度是评估地区或行业减排技术的一项重要指标。在研究时限内, 辽宁省碳排放强度一直处于不断下降趋势, 而碳排放量则呈上升趋势, 两者呈现脱钩状态。2018 年我国碳排放强度比 2005 年下降 45.8%^[8], 碳排放强度为 1.63 t/万元, 而辽宁省 2017 年碳排放强度是 2.40 t/万元, 高于全国平均水平, 说明减排技术相对落后, 对全省碳排放量的抑制效果并不显著。因此, 辽宁省应加大在节能减排技术方面的资金和人员投入, 加快技术升级, 积极从国内外引进先进技术, 改进生产工艺, 减少能源在生产、转换和消费过程中的损失。

2) 人均 GDP 对碳排放量起到正向促进作用, 与居民消费水平影响一致, 由此可知, 随着经济发展, 社会消费端对碳排放的贡献将逐步增加。因此, 要倡导低碳生活, 鼓励绿色采购, 强化绿色消费。鼓励政府及大众优先购买绿色产品、节能产品和有机产品等, 拓宽绿色产品销售平台。同时, 要积极发展公共交通, 建设衔接顺畅、便捷高效、一体化的公交系统, 大幅度提高公共交通出行分担率, 鼓励大众绿色出行, 优先公交出行。

3) 研究发现, 辽宁省 2017 年煤炭消费量占全省能源消费总量比重较 1998 年下降 29%, 已经低于 60%, 说明煤炭控制成效显著。然而, 天然气消费量仅占全省能源消费总量的 4.07%。因此, 未来辽宁省应该在发电、供热和交通等领域逐步提高低碳能源比重, 结合国家及省政府相关清洁能源发展要求, 进一步加大风电、光伏、光热和生物质等非化石能源开发利用力度。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知 [EB/OL]. (2016-11-04)[2019-11-10]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm.
- [2] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析. 第 5 版 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2019.
- [3] 辽宁省统计局, 国家统计局辽宁调查总队. 2018 年辽宁省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 综合能耗计算通则: GB/T2589-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [5] 苏伟. 中国温室气体清单研究 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [6] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 省级温室气体清单编制指南 (试行) [EB/OL]. (2014-01-13)[2019-11-10]. <http://www.cbcsd.org.cn/sjk/nengyuan/standard/home/20140113/download/she ngjiwenshiqiti.pdf>.
- [7] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence, and technology [J]. Human Ecology Review, 1994, 1(2): 277 - 300.
- [8] 李莹. 气候变化需世界各国携手应对 [N]. 中国环境报, 2019-09-25(3).