

“双碳”目标下浙江省产业结构对碳排放量的影响

祝 雪

浙江理工大学经济管理学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2024年9月20日; 录用日期: 2024年10月16日; 发布日期: 2024年11月20日

摘 要

在全国的环境污染情况愈发严重和全球要求推出实现缓解气候变化目标行动的双重压力下, 在全球国家碳排放量排名中, 我国排在第一, 因此我国以身作则, 提出了2030年“碳达峰”和2060年“碳中和”的双碳目标。本文研究了浙江省的碳排放水平, 因为浙江省是我国东部沿海地区的经济大省, 经济发展水平在全国前列, 但是人均的碳排放水平也在全国排名不低, 从而可知, 在减排节能、绿色低碳方面浙江省还需努力。基于此, 本项目拟采用统计分析、实证研究与案例分析相结合的方法, 对浙江省“双碳”背景下的产业结构优化与碳排放之间的关系进行研究。本课题拟以浙江省为例, 以“双碳”为背景, 建立经济社会发展与经济发展之间的关系模型, 并对其进行实证分析, 以期为我国经济社会发展提供理论依据。

关键词

“双碳”目标, 产业结构, 碳排放量

The Impact to Find Industrial Structure on Carbon Emissions in Zhejiang Province under the “Dual Carbon” Goal

Xue Zhu

School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Sep. 20th, 2024; accepted: Oct. 16th, 2024; published: Nov. 20th, 2024

Abstract

Under the dual pressure of the increasingly serious environmental pollution situation in the country

文章引用: 祝雪. “双碳”目标下浙江省产业结构对碳排放量的影响[J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 3743-3757.

DOI: 10.12677/ec.2024.1341577

and the global demand to launch actions to achieve climate change mitigation goals, China ranks first in the global national carbon emission ranking, so China has set an example and proposed the dual carbon goals of “carbon peak” in 2030 and “carbon neutrality” in 2060. This paper studies the carbon emission level of Zhejiang Province, because Zhejiang Province is a major economic province in the eastern coastal region of China, and its economic development level is in the forefront of the country, but the per capita carbon emission level isn’t ranked low in the country, so it can be seen that Zhejiang Province still needs to work hard in terms of emission reduction, energy saving, green and low-carbon. Based on this, this project intends to use a combination of statistical analysis, empirical research and case analysis to study the relationship between industrial structure optimization and “carbon” emissions under the background of “dual carbon” in Zhejiang Province. This project intends to take Zhejiang Province as an example to establish a model of the relationship between economic and social development and economic development under the background of “dual carbon”, and analyze it empirically, in order to provide a theoretical basis for China’s economic and social development.

Keywords

“Dual Carbon” Goals, Industrial Structure, Carbon Emissions

Copyright © 2024 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

2020年9月,中国制定了双碳目标。因此,我国应加快低碳减排速度,推动绿色科技的发展,提升各行业及经济体系的国际竞争力,实现中国的目标将继续推动产业和能源结构的调整和现代化。但对于如今社会还存在不少问题。当前,还有汽车废气、工业废气排放等现实问题,需要迫切解决。所以产业结构调整 and 升级对碳排放量的影响是值得深入研究的一个课题。因此,对于该问题的研究具有一定的现实意义。

2. 文献综述

2.1. 国外研究

在国外,对于产业结构与碳排放量之间的关系考察比较完善,许多学者对其进行了深入研究。Boqiang Lin, Nelson I. Benjamin (2019)通过分位数分析城市化对所有分位数的二氧化碳排放影响最大,表明这是增加碳排放的主要驱动力[1]。虽然此观点主要强调城市化对碳排放的影响,但城市化往往伴随着产业结构的调整和升级。城市化进程中,人口聚集、工业扩张等都会推动产业结构的变化,进而影响碳排放。因此,这一观点间接指出了产业结构变化(作为城市化的一部分)对碳排放的潜在影响。Mahapatra Bamadev, Irfan Mohd (2021)用非线性面板自回归分布滞后建模框架解释了发达经济体和发展中经济体之间能源关系和异质性的非线性复杂性[2]。结果发现在能源效率政策评估中应考虑能源效率的更广泛好处。虽然这一观点主要关注能源效率和能源关系的复杂性,但能源效率与产业结构密切相关。不同产业对能源的需求和效率存在差异,因此产业结构的变化会影响整体的能源效率和碳排放。此外,考虑能源效率的更广泛好处也暗示了产业结构升级可能带来的环境和社会效益。Sun Yuqing (2023)等人利用1997~2019年30个地区的面板数据构建碳排放与产业结构升级的脱钩模型。运用核密度函数分析脱钩分布特征,进而运用基尼系数分解方法分析碳排放脱钩指数,还将空间因素纳入回归模型,验证了产业结构的升级调整对碳排放量的空间协同

效应[3]。这一观点直接研究了产业结构升级与碳排放之间的脱钩关系，并强调了空间协同效应。这表明产业结构升级不仅在本地区内减少碳排放，还可能通过区域间的经济联系和产业转移等方式，对周边地区的碳排放产生积极影响。因此，产业结构升级是实现区域碳减排和协同发展的重要途径。

2.2. 国内研究

国内学者前辈们也在关于产业结构与碳排放量之间的关系进行了多方面的研究分析。陈雪梅(2022)等人通过构建 TVP-SV-FAVAR 模型从结构性视角得出产业结构的升级对中碳部门的影响最大，其次是低碳部门，低碳部门对高碳部门的影响强度最低[4]。这表明产业结构升级在减少碳排放方面，对中碳部门的转型和减排效果最为显著。中碳部门可能处于碳排放的“中间地带”，因此产业升级对其影响尤为关键。低碳部门由于已经较为环保，所以提升空间相对较小；而高碳部门由于历史惯性、技术难度等原因，产业升级对其影响较弱。孙凌宇(2022)等人统计中国 30 个省级行政区的面板数据，使用解释力更强的动态空间面板模型分析产业结构合理化对碳排放影响的空间效应[5]。这说明了产业结构合理化不仅影响本地区的碳排放，还通过空间效应影响其他地区的碳排放。这可能是因为地区间的经济联系、产业转移等因素导致的。因此，在制定减排政策时，需要考虑地区间的相互影响。钟茂初(2022)等人在 Kaya 恒等式 LMDI 分解法和变异系数法(CV)的基础上，分析了产业结构调整与碳排放增长之间的互动关系[6]。这强调了产业结构调整与碳排放增长之间的动态关系。即产业结构调整会影响碳排放的增长，同时碳排放的增长也可能反过来影响产业结构的调整。因此，在制定减排政策时，需要充分考虑这种互动关系，以实现产业结构与碳排放的良性循环。曹俊文，张钰玲(2022)基于 Tapio 模型等方法考察各省碳排放特征与碳减排路径。从整体的研究结果看，优化产业结构是减少碳排放量的有效途径[7]。这说明了不同省份的碳排放特征和碳减排路径存在差异。因此，在制定减排政策时，需要充分考虑各省份的实际情况，制定差异化的减排策略。同时，这也暗示了产业结构对不同省份的碳排放影响可能存在差异。彭辉(2022)使用 LMDI 因素分解法等研究碳排放量与产业结构的相关性，结论表明，产业结构的合理性与碳排放有相关关系[8]。这进一步证实了产业结构对碳排放的影响。产业结构的合理性不仅关系到经济的健康发展，还关系到碳排放的减少。因此，在制定经济发展政策时，需要充分考虑产业结构的合理性，以实现经济与环境的协调发展。

2.3. 文献评述

国内和国外学者对影响碳排放量的产业结构比例进行了大量的研究和详细的分析，从整体上看，第三产业为主的碳排放量较低，主要的因为第三产业以服务业为主，包括交通运输、仓储和邮政业等，能耗相对较低，因此碳排放量相对较低。相反，第二产业主要是工业，污染比第一和第三产业多，对环境质量的影响很大。虽然，现有的文献对产业结构与碳排放量之间的关系已经进行了较为丰富的探讨，前辈们也进行了大量的实证分析。但是，由于第二三产业的比例占比不同对碳排放量的影响也不同[9]。不能大肆增加第三产业，若第二产业占比降得很低，则很有可能会影响当地的发展。因此在不影响发展的情况下，将如何进行碳减排仍存疑，故本文将研究浙江省产业结构对碳排放量的影响，从而寻找实现碳减排的因素，这是具有现实意义的。

3. 浙江省产业结构优化和碳排放现状分析

3.1. 浙江省产业结构优化水平

3.1.1. 产业结构高级化的测度与分析

对于产业结构高级化的测算，通过对以往文献的研读，可用于工业产值比值、第三产业产出与第二产业产出比值的空间矢量测量方法等方法。由于浙江省工业化程度不断提高，近年来第三产业产值上升，

第三产业比重越来越大，经济结构逐步由工业化向服务业转变。因此通过对浙江省的产业结构现状以及相关的理论基础分析，本文将选用第三产业的产值与第二产业的产值之比的方法来测算产业结构高级化，计算公式为：

$$I = \frac{\text{第三产业产值}}{\text{第二产业产值}}$$

如果 I 小于 1，则第二产业的产值仍然占据总产值的主导地位，反之，如果 I 大于 1，则意味着第三产业的产值超过第二产业的产值。也就是说，它成为生产总值的主导产业。当 I 渐渐增大时，则表明浙江省产业结构高级化水平越高。

从图 1 可以明显地看出，浙江省在 2003 年到 2023 年期间产业结构高级化水平整体呈上升趋势，则表明浙江省农业工业正逐步向服务业发展，体现了第三产业发展的加快，这也是社会发展的必然趋势。从 2015 年开始，浙江省的产业结构高级化水平超过了 1，说明在这之前浙江省的产业结构以第二产业为主，到 2020 年达到了 1.37，说明第三产业占据了优势地位。这也得益于浙江省近年来发展迅速，经济水平也在全国前列。虽然在 2021 年和 2022 年有所下降，但还是大于 1，并且在 2023 年又有所回升，这与疫情可能有很大关系。

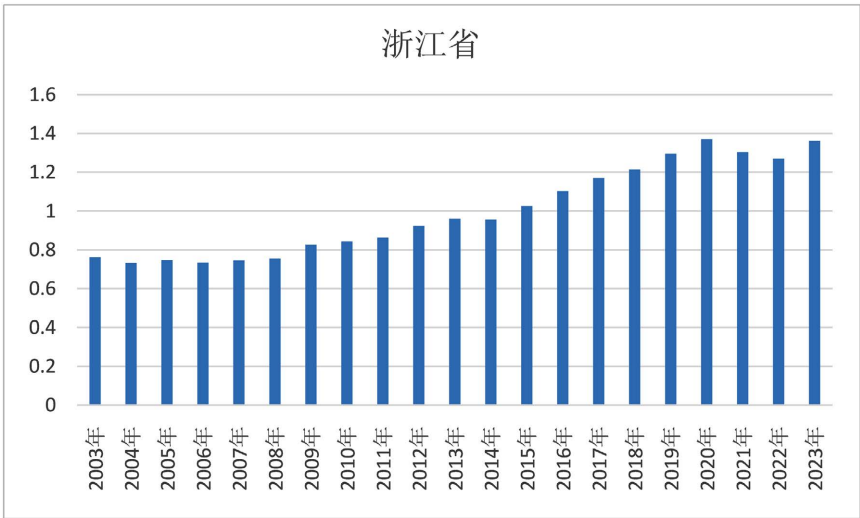


Figure 1. Index of industrial structure upgrading
图 1. 产业结构高级化指数

3.1.2. 产业结构合理化的测度与分析

对于产业结构合理化的计算，本文借鉴了干春晖等人经过修正的泰尔指数作为产业合理化程度的衡量指标的研究思路，具有的计算公式是：

$$G = \sum_{e=1}^n \frac{Y_e}{Y} \ln \frac{Y_e}{Le} \bigg/ \frac{Y}{L}$$

在这个公式中， e 表示的是第 e 产业， n 则是三次产业部门， Y 和 L 则分别表示的为第 e 产业的增加值和对应的就业人数， Y/L 指的是生产率水平。当 $G=0$ 时，则表明经济处于最终均衡状态，也就是说 G 越接近 0，则产业合理化水平越高；相反，若 $G \neq 0$ ，则意为产业结构是不合理的，即偏离了均衡状态，说明 G 值越大也就是离 0 越远，那么产业结构合理化水平越低。

从图 2 中可以看出浙江省在 2003 年到 2022 年期间，浙江省总体的产业结构合理水平是呈下降的趋

势，并且产业结构合理化水平都越来越接近于 0，能出现这样良好的结果离不开科技发展，和第二三产业的发展，还有靠浙江省本身经济发展前景好的优势吸引来的人才，也正是人才的增多，带动了浙江省的就业率，从而提升了劳动生产率。

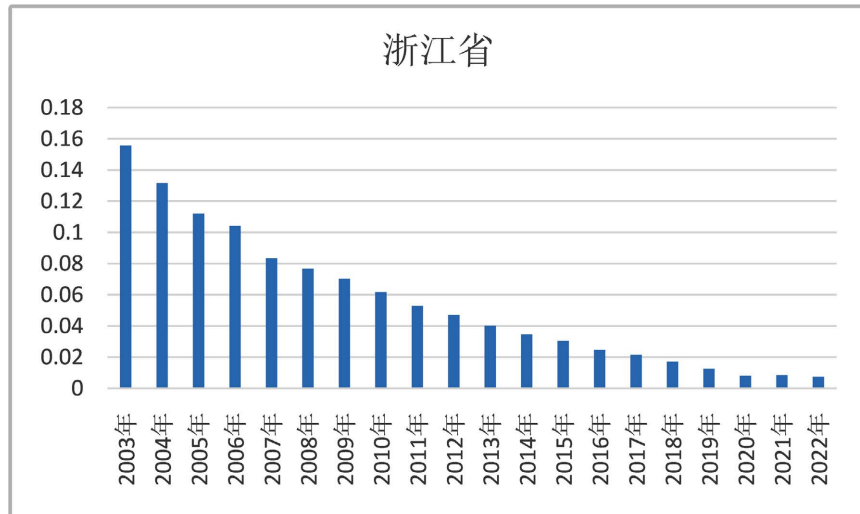


Figure 2. Index of industrial structure rationalization
图 2. 产业结构合理化指数

3.2. 浙江省碳排放测算及现状

3.2.1. 碳排放测算方法

通过对学者们文献的研读，发现了当前比较常见的测度碳排放量的方法主要是三种，是质量平衡法、实测法和 IPCC 清单法[10]。这三种方法各有各的优点缺点，学术研究方面使用较为普遍的是 IPCC 清单法，其优点是算法简单易懂，也适用于样本数据不完整时的碳排放量测量。因此，本文件中的碳排放量计算是使用 IPCC 清单方法进行的。IPCC 清单法是政府间气候变化专门委员会(IPCC)提出的一种流行的碳排放测量方法。根据 IPCC 在 2006 年制定的碳公式，碳排放量可以使用以下公式计算：

$$C = \sum_{i=1}^n q_i E_i F_i$$

上式中， C 代表碳排放量， q_i 代表能源 i 的消费量， E_i 代表能源 i 的标准煤折算系数， F_i 代表能源 i 的碳排放系数， n 表示为能源的种类。

3.2.2. 数据和变量的说明

公式中的 i 表示不同类型的能量。本文选择 2003~2022 年浙江省消耗的八种能源的消耗量代表能源消费量， E_i 和 F_i 分别为不同能源类型的标准煤折算和碳排放系数。各种能源煤炭的标准换算系数来源于《中国能源统计年鉴》，能源数据来源于《浙江省统计年鉴》，而我国碳排放系数与全球碳排放系数并不完全相同，因此本文件中的碳排放系数是根据《省级温室气体盘查编者指南》提供的相关系数计算的。特定能源的标准煤炭转换系数和碳排放系数见表 1，表 2。

3.2.3. 碳排放量分析

其次，根据计算公式：单位GDP = $\frac{\text{碳排放量}}{\text{GDP总值}}$ 得出能源强度。

根据 IPCC 清单法，计算 2003 年至 2022 年浙江省能源消耗产生的碳排放量，从图 3 可以看出，其趋势是上升的，并且达峰的转折点还未出现。从 2003 年~2011 年，浙江省的能源消耗总量从 9523 万吨到 17827.267 万吨，碳排放量从 21869 万吨到 45512 万吨，由此可以看出，碳排放量显著上升。从 2012 年至 2019 年，浙江省碳排放量增加减慢，但还是呈上升趋势，只是较为平缓。从能源消耗量的趋势来看，也是呈上升趋势。趋势减缓的原因可能与“十二五”规划中提出的减排目标有关，也可能与出台的相关政策有关，并且在这期间，浙江省举办了 G20 峰会，这也可能实现减排目标。但在 2020 年至 2022 年碳排放量大幅上升这可能是因为工业生产的扩大，各项政策实施效果未显现。浙江省能源消费可能短期内很难下降，因为工业和制造业是经济发展的主要推动力。水电清洁能源的大力发展虽然能减缓这一趋势，但碳减排的压力仍然存在，实现碳达峰任重而道远。

Table 1. Coefficients
表 1. 系数

能源类型	标准煤转换系数	碳排放系数
原煤(万吨)	0.7143	1.9003
焦炭(万吨)	0.9714	2.8604
原油(万吨)	1.4286	3.0202
汽油(万吨)	1.4714	2.9251
煤油(万吨)	1.4714	3.0179
柴油(万吨)	1.4571	3.0959
燃料油(万吨)	1.4286	3.1705
天然气(亿立方米)	1.333	2.1622

Table 2. Emissions from various energy sources
表 2. 各能源排放量

	煤炭消费量(万吨)	焦炭消费量(万吨)	原油消费量(万吨)	汽油消费量(万吨)	煤油消费量(万吨)	柴油消费量(万吨)	燃料油消费量(万吨)	天然气消费量(亿立方米)
2003	7267	126.93	1425.16	262.15	10.40	569.98	261.6	0
2004	8361.83	149.21	1853.44	278.66	10.55	641.82	292.31	0.32
2005	9680.80	163.59	2113.04	368.53	40.98	803.11	303.66	2.25
2006	11334.43	317.76	2114.73	402.30	46.47	842.43	240.95	11.89
2007	13024.12	326.40	2248.73	444.09	49.48	871.40	227.29	18.09
2008	13040.94	485.98	2287.35	475.36	54.91	898.63	219.86	17.70
2009	13276.16	504.51	2505.80	508.62	62.90	897.23	289.53	19.30
2010	13949.86	443.09	2835.41	586.70	70.42	958.33	330.48	32.62
2011	14776.00	467.00	2939.77	647.76	74.75	958.44	370.29	43.88
2012	14374.00	451.42	2732.59	706.16	80.07	938.90	328.67	48.08
2013	14161.26	446.18	2853.65	706.14	92.15	946.63	328.49	56.72

续表

2014	13824.37	465.07	2731.81	710.38	103.76	932.06	339.38	78.16
2015	13826.07	427.59	2846.84	754.05	113.52	968.37	326.26	80.35
2016	13948.49	329.47	2667.35	796.92	127.40	881.91	381.29	87.79
2017	14262.04	320.17	3038.65	858.97	147.81	831.97	398.32	104.93
2018	14180.08	323.05	2769.88	862.20	163.65	761.97	304.08	134.91
2019	13676.90	302.02	3472.30	789.20	176.37	730.48	303.79	147.2
2020	13131.53	312.48	5082.69	834.57	145.77	703.26	456.38	133.5
2021	15429.95	285.53	5636.97	878.65	155.23	698.76	260.63	170.53
2022	16145.79	292.63	6753.78	882.69	115.31	686.52	211.44	172.03

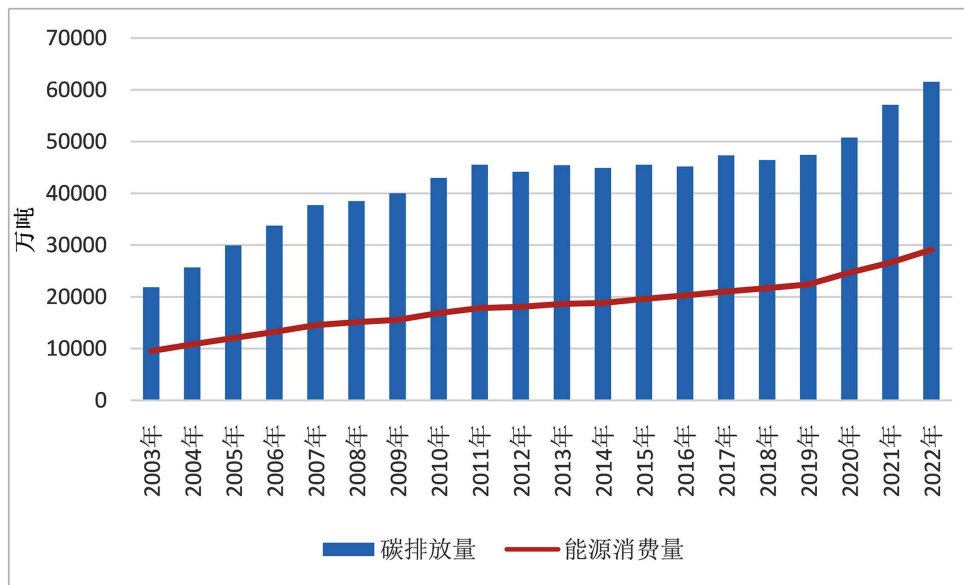


Figure 3. Changes in energy consumption and carbon emissions in Zhejiang Province from 2003 to 2022
图 3. 2003~2022 年浙江省能源消费及碳排放变化情况

4. 浙江省产业结构对碳排放量的影响的实证分析

4.1. 模型建立

通过文献分析可以看出,合理的产业结构可以降低碳排放[11],而高级化则是依靠技术的进步,实现低碳、服务型和高端化。技术创新对发展低碳经济、优化产业结构具有重要意义[12]。因此,本章在环境库兹涅茨曲线的基础上,将引入产业结构优化水平和技术水平变量,研究浙江省 2003~2022 年产业结构高级化、合理化影响碳排放量的程度。建立的模型如下所示:

$$\ln C_t = \alpha_1 \ln P_t + \alpha_2 (\ln P_t)^2 + \alpha_3 \ln H_t + \alpha_4 \ln I_t + \alpha_5 \ln T_t + c + \varepsilon$$

其中, t 为年份(2003~2022 年), C_t 代表第 t 年的碳排放量, P_t 代表第 t 年的人均地区生产总值, H_t 和 I_t 分别代表第 t 年的产业结构合理化与高级化水平, T_t 代表第 t 年的技术创新水平; α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 α_5 代表系数, c 为常数项, ε 表示随机误差项。

4.2. 指标选择及数据来源

(1) 被解释变量

碳排放量(C)采用本文第二章的测算结果；

(2) 解释变量

产业结构合理化指数(H)、产业结构高级化指数(I)也采用第二章计算的结果；

经济增长(P)用人均地区生产总值表示，数据来自《浙江省统计年鉴》；

技术水平(T)考虑到产业结构－能源消费－碳排放的影响路径，所以选择本文的第二章计算的浙江省能源强度，反映能源使用的技术进步和利用效率。

在进行 Eviews 时，为方便操作，将 y 代表为 C，将 x1、x2、x3、x4 分别代表 P，H，I，T，见表 3。

Table 3. Variable descriptions

表 3. 变量说明

	变量	名称	说明
被解释变量	C	碳排放量	IPCC (2006)排放因子法
解释变量	P	经济发展	人均国内生产总值
	H	产业结构合理化指数	泰尔指数(干春晖，2011)
	I	产业结构高级化指数	第三产业产值与第二产业之比
	T	技术水平	能源强度(单位 GDP 能耗)

4.3. 实证分析

4.3.1. 单位根检验

时间序列的平稳性，即方差、均值等统计特征，不随时间变化。由于很多宏观经济指标是非平稳的，因此，对非平稳时序数据进行直接的模型化与回归分析，会出现“伪回归”现象。为了避免这种情况，可以提前做一个平稳性检验，本文将采用 ADF 检验。

假设：

$H_0: \gamma = 0$ ，至少存在一个单位根

$H_1: \gamma < 0$ ，不存在单位根

根据操作软件 EVIEWS 可知，lny、lnx1、lnx3、lnx4 在原水平下就平稳；lnx2 变量的一阶差分在 1%的显著性下拒绝了原假设 H_0 ，即各变量均符合平稳条件；Dx2 表示一阶差分后的变量，检验结果如表 4 所示：

Table 4. Unit root test

表 4. 单位根检验

变量	ADF	1%level	5%level	10%level	P 值	结论
lny	-3.592526	-3.831511	-3.029970	-2.655194	0.0164	平稳
lnx1	-3.871247	-3.831511	-3.029970	-2.655194	0.0092	平稳
lnx2	-1.460966	-4.532598	-3.673616	-3.277364	0.8069	非平稳
Dx2	-3.981959	-3.857386	-3.040391	-2.660551	0.0078	平稳

续表

lnx3	-2.486599	-2.728252	-1.966270	-1.605026	0.0169	平稳
lnx4	-2.895573	-2.708094	-1.962813	-1.606129	0.0065	平稳

4.3.2. Johansen 协整检验

在协整测试之前，首先确定 VAR 模型的最佳滞后阶数，因为 VAR 模型的大小会影响模型的动态变化，估计参数的数量和模型的自由度。VAR 模型的最优滞后阶的确定有很多种方法，如 LR 似然比统计和 FPE 的最优预报误差判据。各指标的最优滞后次序各不相同，以 LR，FPE，AIC，HQIC 等指标的最优滞后次序均为 2，即 VAR(2)，如表 5 所示。

Table 5. Results of optimal lag order test
表 5. 最佳滞后阶数检验结果

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	126.5694	NA	9.37e-13	-13.50771	-13.26038	-13.47361
1	245.4773	158.5439*	3.14e-17	-23.94192	-22.45797	-23.73730
2	288.1033	33.15359	1.05e-17*	-25.90037*	-23.17979*	-25.52524*

在 1978 年，恩格尔和格兰杰提出了协整理论。协整检验的方法包括两步 E-G 法和约翰森似然法(基于回归系数)。在实践中，两步 E-G 方法通常研究两个变量，但 Johansen 检验适合观察一些变量，更适合本文的研究情况。在确定了最大滞后阶数为 2 后，对 lny、lnx1、lnx3、lnx4、lnx5 进行协整检验，如表 6 所示：

Table 6. Results of Johansen cointegration test
表 6. Johansen 协整检验结果

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None*	0.997123	175.8146	69.81889	0.0000
At most 1*	0.851358	70.49529	47.85613	0.0001
At most 2*	0.600780	36.18342	29.79707	0.0080
At most 3*	0.517487	19.65505	15.49471	0.0111
At most 4*	0.304552	6.537580	3.841465	0.0106
Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None*	0.997123	105.3193	33.87687	0.0000
At most 1*	0.851358	34.31187	27.58434	0.0059
At most 2*	0.600780	16.52837	21.13162	0.1955
At most 3*	0.517487	13.11747	14.26460	0.0753
At most 4*	0.304552	6.537580	3.841465	0.0106

结果表明，五组协整关系显著。极大特征检验表明，在显著性水平 0.05 以下存在两组协整关系。碳排放、经济发展、产业结构先进、技术水平、产业结构合理化等变量之间存在长期稳定关系。为了验证五个变量的数量关系，采用 Eviews 分析进行回归分析，其结果是：

$$\ln C_t = 0.829 \ln P_t + 0.012 (\ln P_t)^2 - 0.028 \ln H_t - 0.016 \ln I_t + 0.885 \ln T_t - 0.04$$

结果显示， F 统计量为 6028.427，对应 P 值 $0.0000 < 0.05$ ，这意味着在显著性水平为 5% 时否定原假设(所有解释变量均未对解释变量产生显著影响)。其次，上面定义的模型很重要，因为 R^2 值为 0.999370。

通过分析各变量的 P 值，我们可以发现，经济发展(P)与能源强度(T)均与碳排放(C)存在正向关联，而产业结构(H)及先进产业结构(I)则与碳排放的合理化展现出了负向相关性。进一步地，值得注意的是，产业结构合理化的两个指标——能量强度(T)和 H 指数，其变动趋势与实际观测到的水平相悖。具体而言，当产业结构合理化程度、产业结构高级化程度以及技术水平每提升 1 个单位时，碳排放量会随之增加 0.028 个单位；相反，若这三者分别降低 1 个单位，碳排放量则会减少 0.016 个单位和 0.885 个单位。这些发现证实了浙江省产业结构优化对碳排放量的显著影响，尽管产业结构高级化已初步显现成效，但产业结构合理化在减少碳排放方面的作用尚不明显。这表明，为了更有效地促进节能减排和可持续发展，还需进一步增强产业间的内部协同作用，并优化生产要素的分配效率。

4.3.3. 脉冲响应分析

VAR 模型[13]能反映出各经济变量间的相互关系，但其参数只能反映各经济变量间的局部动态关系，而方差分析则需要利用脉冲响应分析来进一步研究各经济变量间的相对完备的动态影响过程。在采用响应脉冲函数进行分析前，首先要确定变量自回归模型是稳定的。AR 根数检验结果显示，各特征根数均在单位圆圈之内，并可进一步分析，如图 4 所示。动态脉冲分析是研究时间序列变化对系统的动态影响，通过观测和分析某一变量的随机干扰对其它内生变量的影响，进而研究该模型中各变量对外界冲击的响应。

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial

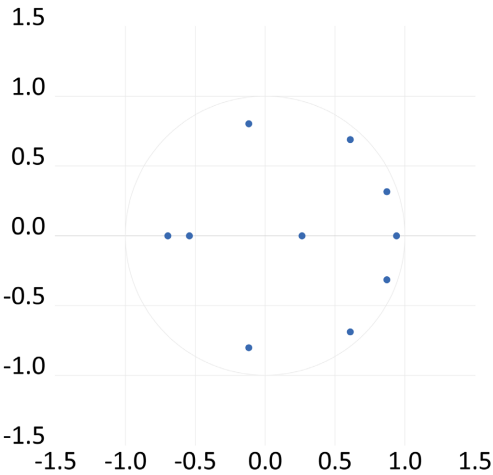


Figure 4. Stability test of VAR model
图 4. VAR 模型稳定性检验

- 1) 进行各个变量对碳排放量的脉冲响应分析。
- 如图 5 所示，从四幅图的短期分析来看，lnx2 代表的产业结构合理化、lnx3 代表的产业结构高级化、lnx1 代表的经济增长以及 lnx4 代表的技术水平，均对 lny 即碳排放产生了显著的影响，而这种影响在长

期内逐渐趋于稳定。当给予碳排放 $\ln y$ 一个正向的冲击时，我们可以观察到，在第四期到第九期之间， $\ln x_1$ 经济增长、 $\ln x_3$ 产业结构高级化以及 $\ln x_4$ 技术水平均呈现出一个先上升后下降的趋势，而 $\ln x_2$ 产业结构合理化则展现出了相反的变化模式。结合各指标的具体含义及其相互之间的逻辑关联，我们可以推断出，产业结构的高级化、合理化以及技术水平的提升，均能在一定程度上对碳排放产生缓解作用。这一发现与浙江省产业结构正逐步向“三二一”格局转型的实际情况是一致的，即随着产业结构的优化和技术水平的进步，碳排放的增长趋势得到了有效的控制。

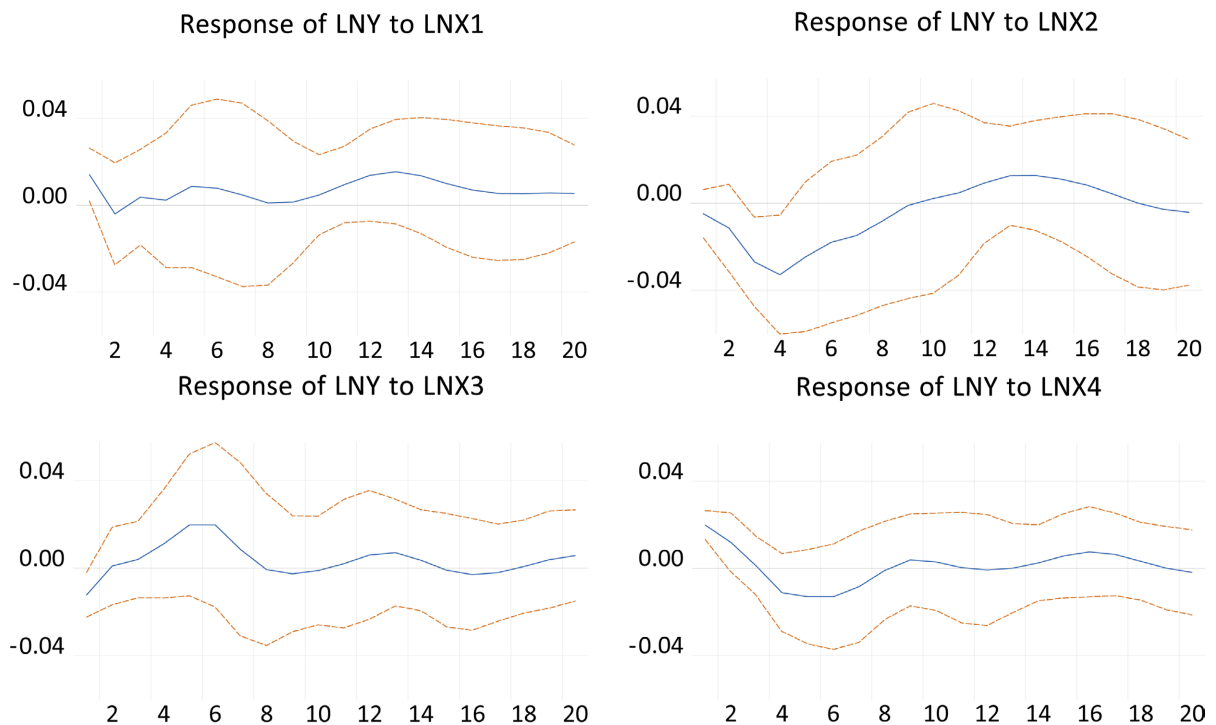


Figure 5. Impulse response analysis diagram of various variables to carbon emissions

图 5. 各个变量对碳排放量的脉冲响应分析图

2) 进行各个变量对产业结构合理化的脉冲响应分析。

如图 6 所示，从四幅图的动态反应来看，对碳排放 $\ln y$ 施加一个正向冲击后， $\ln x_2$ 所代表的产业结构合理化展现出了正 - 负 - 正的整体波动模式，这揭示了产业结构的调整与资源配置尚未达到最优状态。在经济成长、减排及节能的双重压力下，当前产业政策的实施效果显得较为有限。根据之前对产业结构优化的探讨，我们可以认识到，产业结构的合理化与高级化之间存在着相互影响的关系。进一步地，当对产业结构高级化 $\ln x_3$ 给予一个正向冲击时，产业结构合理化 $\ln x_2$ 的响应表现出不稳定性，既有正向也有负向的波动，但在整个反应期间内，其抑制作用占据主导。考虑到 $\ln x_3$ 与产业结构合理化水平实际上呈负相关关系，我们可以合理推测，随着产业结构高级化的不断推进，它将在一定程度上促进产业结构合理化水平的提升，尽管这种提升可能伴随着波动和不确定性。同样地，经济发展 $\ln x_1$ 和技术水平 $\ln x_4$ 对 $\ln x_3$ 的冲击也出现了较为不稳定的波动情况，整体上看，负面影响多于正面影响，后者的影响更明显，波动幅度相对较大。可见，经济质量的不断提高，促使更多的生产要素留在合理的产业领域，提高了产业结构的合理化水平，并长期持续努力。但是，经济增长的指标，可能受限于主要消耗体的工业部门，需要工业部门来促进经济增长，以此，没有对三次产业的生产率、整体调度有显著贡献。

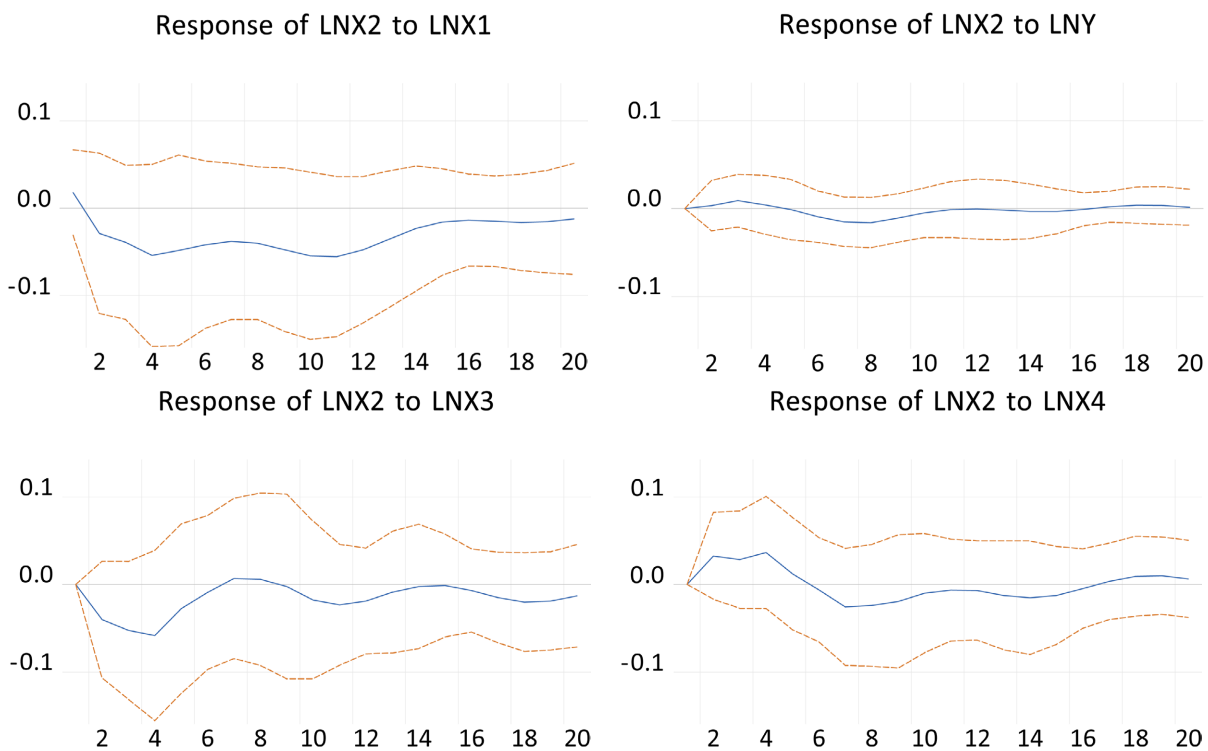
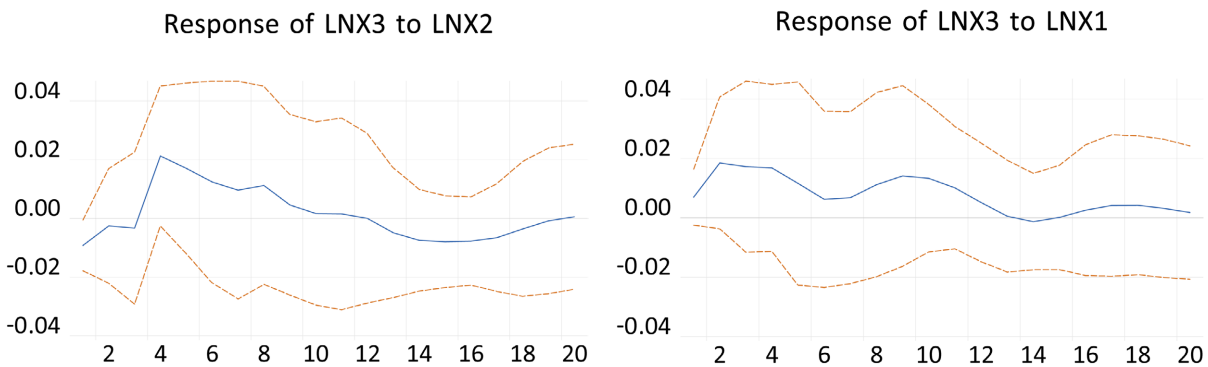


Figure 6. Impulse response analysis diagram of various variables to rationalization of industrial structure
图 6. 各个变量对产业结构合理化的脉冲响应分析图

3) 进行各个变量对产业结构高级化的脉冲响应分析。

如图 7，从以下四幅图的分析中可以得出，碳排放量对于产业结构高级化整体上展现出了一种负向的影响趋势。这一现象的根源在于，碳排放的增长主要源自能源密集型的第二产业，而若第三产业相较于第二产业在低碳方面的贡献不足以形成有效抵消，则意味着第二产业仍旧是经济发展的主要支撑，同时，也反映出第三产业在产业结构中的占比尚不够高，进而表明产业结构的高级化水平仍有待提升。

与此同时，经济发展 $lnx1$ 与技术水平 $lnx4$ 对产业结构高级化 $lnx3$ 的冲击效应呈现出了波动性的特征，但总体上保持了正向的影响。这表明，随着新发展理念的深入贯彻以及供给侧改革的持续推动，产业结构高级化的水平正在得到提升。然而，由于目前尚未找到最优的产业结构配置，仍处于摸索与调整的阶段，因此，这种提升的效果呈现出了一定的不稳定性。



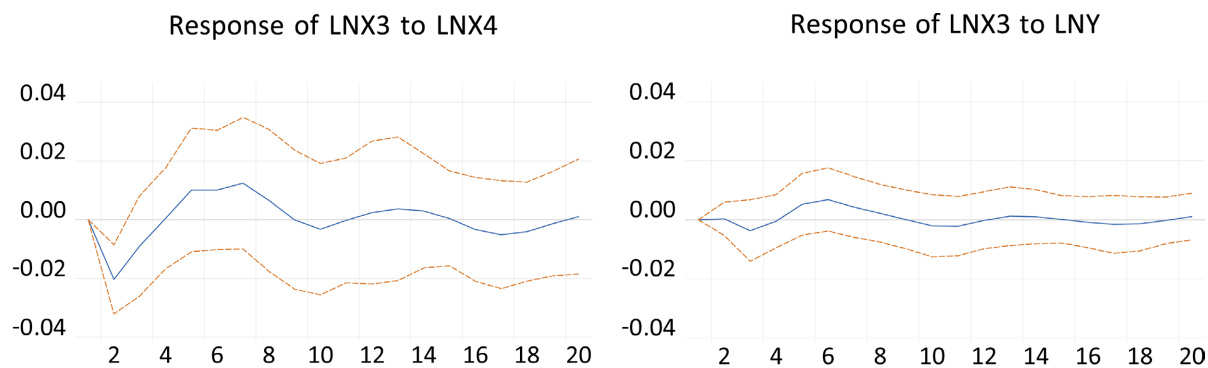


Figure 7. Impulse response analysis diagram of various variables to upgrading of industrial structure
图 7. 各个变量对产业结构高级化的脉冲响应分析图

此外，值得注意的是，产业结构合理化 $lnx2$ 对产业结构高级化 $lnx3$ 的冲击效应在四到十二期期间表现为正向，但随后却转为了负向。这一变化表明，产业结构优化的工作在短期内仍处于探索与尝试的阶段，而且，产业结构的合理化与高级化水平并未能够实现同步的提升。

4.3.4 方差分解分析

通过观察脉冲响应函数，我们能够洞察 VAR(向量自回归)模型中各变量间存在的动态相互影响过程。进一步地，利用方差分解分析，可以深入探讨 VAR 模型中各个内生动力变量的随机波动如何对其他内生变量的变动产生贡献，因此分解滞后 30 周期的方差，以了解不同结构的影响对内生变量变化的相对重要性，结果如表 7 下：

Table 7. Results of variance analysis
表 7. 方差分析结果

Period	S.E.	LNX1	LNX2	LNX3	LNX4	LNY
1	0.029758	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	100.0000
2	0.039325	8.499364	7.967246	4.732930	0.125437	78.67502
3	0.051359	5.005515	43.67471	3.573284	0.139601	47.60689
4	0.059378	4.106440	64.47882	2.431098	0.499972	28.48367
5	0.064634	8.479349	64.13695	3.871481	1.163039	22.34918
6	0.069679	11.51330	61.62680	4.966238	1.235801	20.65786
7	0.073561	11.93366	62.45027	4.759636	1.165086	19.69135
8	0.075936	11.78569	62.82558	4.721236	1.181197	19.48630
9	0.077942	11.73792	62.43642	4.692566	1.349776	19.78332
10	0.080240	11.75116	62.01408	4.658038	1.588502	19.98822
11	0.082283	12.84924	61.09262	4.622296	1.660137	19.77570
12	0.084208	15.60140	59.18222	4.743959	1.589689	18.88273
13	0.086338	18.50052	57.29125	4.973531	1.489125	17.74557
14	0.088197	19.84557	56.55811	4.985946	1.428657	17.18171

续表

15	0.089530	19.81653	56.49830	4.876908	1.415880	17.39239
16	0.090579	19.43310	56.35993	4.784296	1.431720	17.99096
17	0.091472	19.23524	56.04943	4.758861	1.449949	18.50652
18	0.092202	19.28423	55.77010	4.800633	1.447098	18.69793
19	0.092832	19.54622	55.50465	4.905407	1.443452	18.60028
20	0.093411	19.86942	55.23668	5.037566	1.453483	18.40286
21	0.093918	20.01419	55.17044	5.110919	1.461770	18.24268
22	0.094321	19.96796	55.31292	5.117930	1.460205	18.14098
23	0.094634	19.88899	55.48045	5.102567	1.454460	18.07353
24	0.094896	19.82864	55.61546	5.086022	1.451184	18.01869
25	0.095134	19.77782	55.72652	5.075338	1.449060	17.97126

若剔除碳排放的自身贡献率，结果表明，产业结构合理化即 $\ln x_2$ 对碳排放贡献率先变增后降，但基本保持在 50%以上，这也是浙江碳减排的主要原因。 $\ln x_1$ 经济增长，贡献率变化基本也是先增后减，峰值将在第 21 期出现。 $\ln x_3$ 产业结构高级化对碳排放的贡献率基本是上升态势。最后，技术水平 $\ln x_4$ 的贡献率相对最低，未突破 5%。因此，说明了能源强度的提升优化，尚有较大的改善余地。

5. 结论与建议

5.1. 结论

本章通过环境库兹涅茨曲线构造建立了计量模型，通过 VAR 模型的脉冲响应分析和方差分析，通过对 2003 至 2022 年期间浙江省的经济增长、产业结构优化(包括合理化和高级化两个层面)、技术水平以及碳排放之间的动态关系进行长短期实证分析，我们得出以下结论：产业结构在合理化和高级化两个维度上对碳排放的影响呈现出时而正向、时而负向的波动性，且这些变化并非同步发生。值得注意的是，与技术水平相比，产业结构合理化和高级化对碳排放的贡献度均显得较低。可见，浙江产业结构已进入新的“三比一”发展模式，但产业结构高级化水平也进入了一个新的阶段，但要提高不同行业之间的资源协调程度，还有很多工作要做。未来，我们要继续推进产业结构合理化，推动浙江省绿色低碳发展。

5.2. 对策和建议

5.2.1. 加快推进产业结构升级，促进第三产业的发展

浙江省作为全国经济发展领先的强省，还要利用自身在技术和人才流入方面的优势，提高优质工业产品的份额，让数字经济在承担低碳技术研发责任的同时，更好地服务制造业和服务业。支持其他地区发展低碳经济，促进第三产业发展在浙江省内的地级市，若有得天独厚的自然风光，要保护好该自然资源，以此来开发或进一步发展旅游业，从而引领绿色化产业的发展，进而提升第三产业的占比。

5.2.2. 合理利用外资，发展高技术服务业

在改革开放后，浙江省是属于实施对外开放最早的地区之一，也是最早外资流入的地区之一。在三次产业中，第二产业应是外资投入最多的，因此，或多或少都会阻碍产业结构升级过程，从而造成碳排

放量增多。所以，在引进外资时，要对其进行合理分配，最大程度把它引入高端制造业和高技术服务业，努力形成一个人才密集、有高附加值的而低耗能的产业体系。

5.2.3. 升级经济结构，加大技术研发力度，让经济与生态和谐发展

在推进经济发展进程中，必须妥善形成经济与环境的关系。根据上述经济发展与碳排放的倒 U 型关系，我们需要转过弯来，远离目前导致高碳排放的绿色发展和能源之路，才能在两者的协同发展中取得成功。浙江省作为经济大省，拥有各方面资源丰富的优势，因此，在提高自身经济发展时，也要把生态建设放在重要位置，引进技术方面的人才以及智慧管理平台。

参考文献

- [1] Lin, B. and Benjamin, N.I. (2019) Determinants of Industrial Carbon Dioxide Emissions Growth in Shanghai: A Quantile Analysis. *Journal of Cleaner Production*, **217**, 776-786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.208>
- [2] Mahapatra, B. and Irfan, M. (2021) Asymmetric Impacts of Energy Efficiency on Carbon Emissions: A Comparative Analysis between Developed and Developing Economies. *Energy*, **227**, Article 120485. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120485>
- [3] Sun, Y., Liu, Y., Yang, Z., Wang, M., Zhang, C. and Wang, L. (2023) Study on the Decoupling and Interaction Effect between Industrial Structure Upgrading and Carbon Emissions under Dual Carbon Targets. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **20**, Article 1945. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031945>
- [4] 陈雪梅, 周斌. 产业结构升级对分部门碳排放的时变影响[J]. 技术经济与管理研究, 2022(6): 123-128.
- [5] 孙凌宇, 罗杨帆. 产业结构合理化对碳排放影响的空间效应[J]. 重庆社会科学, 2022(10): 55-68.
- [6] 钟茂初, 赵天爽. 双碳目标视角下的碳生产率与产业结构调整[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2021(5): 97-109.
- [7] 曹俊文, 张钰玲. 中国省域碳排放特征与碳减排路径研究[J]. 生态经济, 2022, 38(8): 13-19.
- [8] 彭辉. 华东地区产业结构、碳排放与经济增长的关系研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2022.
- [9] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46-69.
- [10] 章洁. 安徽省产业结构优化对能源碳排放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2022.
- [11] 钊梦瑶. 碳排放权交易试点政策对我国产业结构升级的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东政法大学, 2022.
- [12] 马文涛. 长江经济带产业结构优化升级的碳排放效应研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆工商大学, 2022.
- [13] 叶娟惠, 叶阿忠. 科技创新、产业结构升级与碳排放的传导效应——基于半参数空间面板 VAR 模型[J]. 技术经济, 2022, 41(10): 12-23.