

“双碳”目标下碳排放量变化趋势及影响因素分析

——以长沙市碳排放为例

洪圣光^{1*}, 赵秀青², 邹泽宇¹

¹长沙理工大学数学与统计学院, 湖南 长沙

²湖南第一师范学院数学与统计学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年2月8日; 录用日期: 2023年3月8日; 发布日期: 2023年3月20日

摘要

基于2001~2019年长沙市碳排放量数据和长沙市统计年鉴相关数据进行分析, 采用折线图分析长沙市碳排放量的变化, 用EKC曲线分析长沙市经济发展对碳排放量的影响, 用Kaya恒等式分析长沙市碳排放量的驱动因素。结果显示: 2001~2019年, 长沙市实现经济迅速发展的同时, 有效控制了碳排放量的增加, 在2018年暂时达到了碳达峰目标中的碳排放强度条件; 根据EKC曲线模型估计, 长沙市在2014年至2015年期间实现碳达峰, 但是估计存在误差, 实际碳排放量并没有达峰; 基于Kaya恒等式分析可得, 长沙市能源结构的调整是过去长沙市碳排放量下降的主要原因, 要实现“双碳”目标, 必须继续调整优化能源结构, 同时大力推广应用节能减排技术。

关键词

碳排放, 碳排放强度, 环境库兹涅茨曲线, Kaya恒等式

Analysis of Changing Trend and Influencing Factors of Carbon Emission under the “Double Carbon” Target

—A Case Study of Carbon Emission in Changsha City

Shengguang Hong^{1*}, Xiuqing Zhao², Zeyu Zou¹

¹School of Mathematics and Statistics, Changsha University of Science & Technology, Changsha Hunan

²College of Mathematics and Statistics, Hunan First Normal University, Changsha Hunan

*通讯作者。

文章引用: 洪圣光, 赵秀青, 邹泽宇. “双碳”目标下碳排放量变化趋势及影响因素分析[J]. 可持续发展, 2023, 13(2): 675-682. DOI: 10.12677/sd.2023.132070

Abstract

Based on the data on carbon emissions of Changsha City from 2001 to 2019 and the relevant data from the statistical yearbook of Changsha City, this paper analyzes the change in carbon emissions of Changsha City by using the broken line chart, analyzes the impact of economic development of Changsha City on carbon emissions by using the EKC curve, and analyzes the driving factors of carbon emissions of Changsha City by using the Kaya identity. The results show that from 2001 to 2019, while realizing rapid economic development, Changsha effectively controlled the increase of carbon emissions, and temporarily reached the carbon emission intensity condition of the target of carbon peak in 2018. According to the EKC curve model, it is estimated that Changsha City achieved the carbon peak from 2014 to 2015, but the error is large, and the actual carbon emissions did not reach the peak. Based on the analysis of Kaya identity, it can be concluded that the adjustment of energy structure in Changsha was the main reason for the decrease in carbon emission in the past. In order to achieve the goal of “double carbon”, it is necessary to continue to adjust and optimize the energy structure and vigorously promote the application of energy-saving and emission-reduction technologies.

Keywords

Carbon Emission, Carbon Emission Intensity, Environmental Kuznets Curve, Kaya Identity

Copyright © 2023 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

改革开放后,随着人们生活方式的改变和经济的快速增长,我国的二氧化碳排放量迅速增加,在2006年成为全球最大的二氧化碳排放国。为了实现工业革命后气温上升不超过2℃(甚至1.5℃)的全球温度目标,中国在2015年签署了《巴黎协定》,提交了国家自主决定贡献(INDC)。宣布到2030年二氧化碳的排放达到峰值,单位国内生产总值二氧化碳排放到2030年相对2005年排放量下降60%~65%。2020年,中国又更新了碳排放目标,宣布在2030年前单位国内生产总值二氧化碳排放对比2005年下降65%以上,非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右,2060年之前实现碳中和的目标[1]。碳达峰、碳中和的目标简称为“双碳”目标,为了实现此目标,怎样创造更低碳排放的经济发展模式是当前的热点问题。

作为“双碳”目标的前期政策实践,低碳城市试点建设是在政府支持下为解决生态环境和经济发展非协调性而实行的政策探索。在2010年、2012年和2017年共三批81个城市被批准为国家低碳试点城市[2]。长沙市被列入国家低碳城市试点第三批名单中。怎样在经济建设中推广应用节能减排技术,以“低碳”经济建设引领长沙市的高质量发展势在必行。

在研究二氧化碳排放的文献中,Yuru Guan等提出了中国二氧化碳排放量的计算方法,并给出了1997~2019年290个中国城市的碳排放清单[3][4][5][6]。梁广华运用计量经济模型拓展研究了中国环境库兹涅茨曲线,得出中国人均二氧化碳排放量与人均GDP呈现倒“U”型关系的结论[7]。张明志基于

Kaya 恒等式及其推广形式讨论了中国碳排放量的各影响因素[8]。

本文首先分析 2001~2019 年长沙市碳排放量的变化情况, 然后基于环境库兹涅茨曲线讨论长沙市经济增长对碳排放量的影响, 最后基于 Kaya 恒等式把长沙市的碳排放量分解成四个驱动因子, 讨论相应的驱动因素对长沙市碳排放量的影响。

2. 2001~2019 年长沙市碳排放量分析

由中国碳核算数据库(CEADs)可得长沙市 2001~2003 年及 2005~2019 年的碳排放量数据, 缺失 2004 年的碳排放量数据, 用 SPSS22.0 软件的回归方法插补上, 可得如下图 1 的碳排放量折线图。如图 1 所示, 2001~2003 年长沙市碳排放量在 1000 万吨左右摆动, 2004~2010 年碳排放量快速增长, 2010 年增长到 2984 万吨。2010 年以后, 随着产业结构的调整及节能减排技术的发展应用, 碳排放量得到了有效控制, 到 2012 年碳排放量减少到了 2654 万吨。2013~2015 年, 碳排放量又出现了缓慢增长, 到 2015 年增长到了 3001 万吨。2016~2019 年碳排放量在 2950 万吨与 3245 万吨之间波动。所以从整体上看, 长沙市碳排放量变化曲线先快速上升, 然后缓慢下降, 最后出现了上下小幅波动。由此可得长沙市碳排放量的增长在后期得到了有效控制。

根据长沙市 2021 年统计年鉴, 以长沙市 2001 年零售商品价格为不变价格, 计算可得 2001~2019 年长沙市国民生产总值(GDP)数据。用长沙市每年的碳排放量与 GDP 的比值表示长沙市的碳排放强度(单位: 吨/万元)。如图 2 所示, 2001~2003 年长沙市碳排放强度由 1.174 吨/万元下降到 0.865 吨/万元, 但是到 2005 年又上升到了 1.241 吨/万元。2005 年以后长沙市碳排放强度又逐年下降, 2006~2012 年下降速度很快, 2012 年为 0.497 吨/万元, 这期间共下降了 0.744 吨/万元。在 2013~2019 年长沙市碳排放强度下降很慢, 总共只下降了 0.140 吨/万元。在 2018 年碳排放强度为 0.357 吨/万元, 比 2005 年碳排放强度下降了 71.2%, 暂时实现了国家碳达峰目标中的碳排放强度下降条件。

如果某地区在经济发展的同时, 碳排放强度也在下降, 则一般认为该地区属于“低碳”经济发展模式[9]。在 2005 年以后, 长沙市一直保持着“低碳”经济发展模式。但是长沙市碳排放强度的下降很大一部分原因是长沙市经济发展很快, 导致碳排放增长的速度远小于 GDP 增长的速度造成的。按此发展形式, 要在 2030 年前实现碳达峰目标可能比较容易, 但是要在 2060 年前实现碳中和则有很大困难。所以长沙市还需要继续挖掘节能减排的潜力, 以实现国家“双碳”目标为契机, 进一步提升长沙市高质量发展的程度。

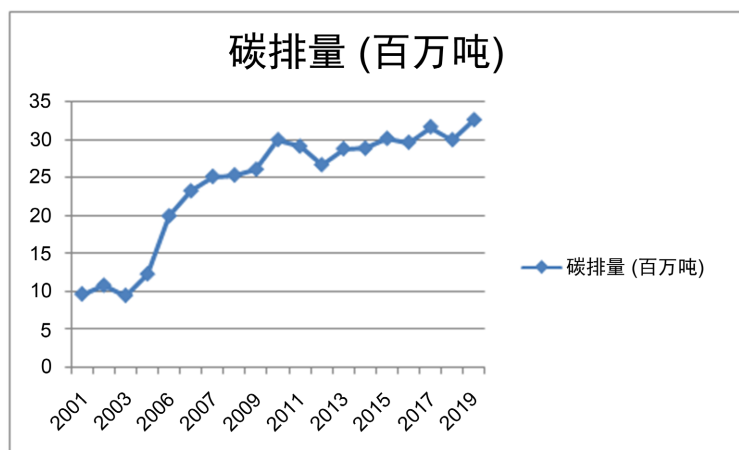


Figure 1. Broken line chart of carbon emission in Changsha from 2001 to 2019
图 1. 长沙市 2001~2019 年碳排放量折线图

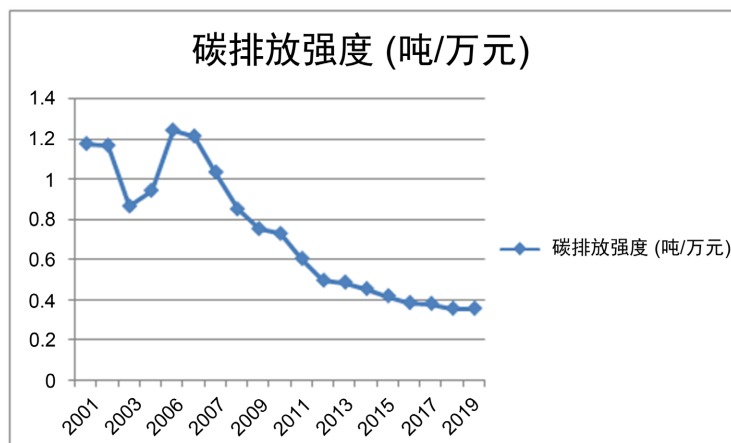


Figure 2. Broken line chart of carbon emission intensity of Changsha City from 2001 to 2019
图 2. 长沙市 2001~2019 年碳排放强度折线图

3. 长沙市经济增长对碳排放量的影响分析

在二十世纪九十年代初格鲁斯曼等学者发现人均收入和环境质量之间存在着同经济学中的库兹涅茨曲线一样的曲线关系,并根据这种关系提出了环境库兹涅茨曲线的假设[10]。假设认为,当一个地区的人均收入比较低的时候,这个地区的环境质量比较好。在这个地区的人均收入开始增加时,增加的收入主要用于发展经济,因经济发展带来的环境问题使得该地区的环境质量逐渐变差。当该地区人均收入增加到一定程度后,有相当多的资金用于环境改造和节能减排技术的研究应用,其环境质量也会逐渐变好。环境质量随着经济发展呈现的倒 U 形曲线称为环境库兹涅茨(EKC)曲线。

根据参考文献[10],经济水平和环境质量之间的环境 EKC 曲线模型可设为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \quad (1)$$

在式(1)中, y 代表了环境质量指标(如碳排放等), x 代表了相应的经济发展指标(如人均收入水平、GDP 等), ε 是随机项。 β_0, β_1 和 β_2 是未知参数,给定样本数据 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, 由最小二乘估计得到环境库兹涅茨曲线拟合方程:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 \quad (2)$$

当 $\hat{\beta}_1$ 大于 0, 而 $\hat{\beta}_2$ 少于 0 时,拟合的二次曲线 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2$ 呈倒 U 形,则认为经济发展和环境质量符合环境库兹涅茨曲线的假设。

以长沙市 2001 年零售商品价格为不变价格,在 2001 年长沙市 GDP 为 8,159,971 万元,2019 年为 9083256.49 万元,在这 19 年间长沙市 GDP 的平均年增长率达到了 14.3%,保持了经济的快速增长。

为了减少异方差的影响,将长沙市 2001~2019 年的碳排放量和 GDP 的数据全部取自然对数,得观测数据 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, 19$, x_i 表示第 i 年长沙市 GDP 的自然对数值, y_i 表示第 i 年碳排放量的自然对数值。用 SPSS22.0 拟合二次曲线模型得如下回归系数表:

由下表 1 可得, $\hat{\beta}_1 > 0, \hat{\beta}_2 < 0$, 相应的显著性检验的 P 值都约等于 0, 即 \ln GDP 及其平方对碳排放量自然对数值的影响都非常显著,所以 2001~2019 年的长沙市经济发展与二氧化碳排放量符合环境库兹涅茨曲线的假设,拟合图形如图 3。

在此二次曲线顶点处 $x = 18.02817$, 而在 2014 年长沙市 GDP 的自然对数值为 17.96060, 2015 年为 18.08547, 按照环境库兹涅茨曲线模型估计,长沙市在 2014 年至 2015 年期间已经实现了碳达峰。但是 2017

年和2019年长沙市碳排放量的实际值都要大于预测值，超过了2015年的碳排放量的值，并没有真正实现碳达峰。所以长沙市还需进一步采取措施大力减少碳排放量，才能在2030年前真正实现国家提出的碳达峰目标。

Table 1. Coefficient of environmental Kuznets curve^a

表 1. 环境库兹涅茨曲线系数^a

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差	试用版		
(常量)	-88.759	15.304		-5.800	0.000
1	lnGDP 平方	-0.284	0.052	-18.628	0.000
	lnGDP	10.240	1.786	19.536	0.000

^a 因变量：lnC。

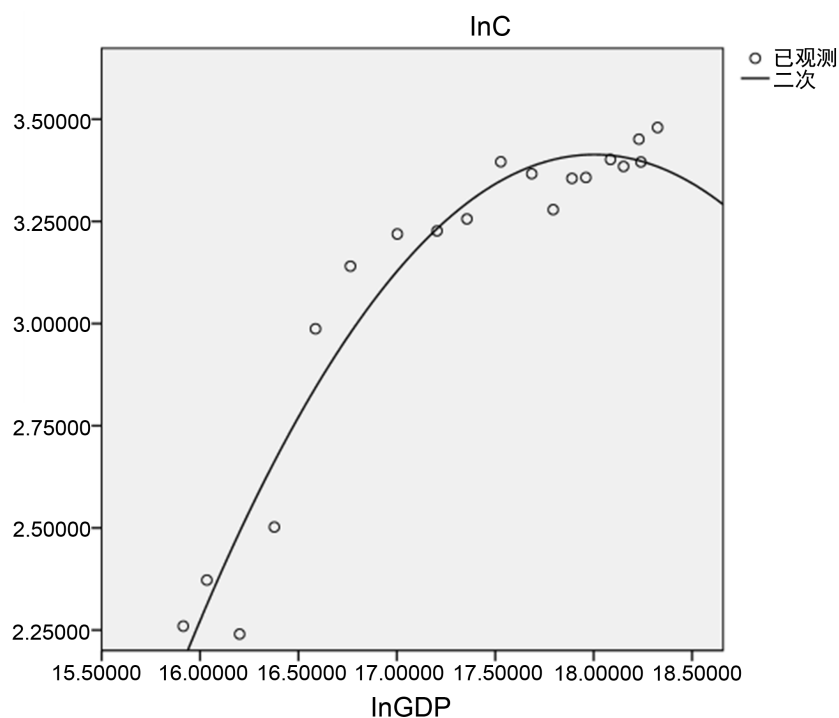


Figure 3. Environmental Kuznets fitting curve of economic development and carbon dioxide emissions in Changsha

图 3. 长沙市经济发展与二氧化碳排放量的环境库兹涅茨拟合曲线

4. 长沙市碳排放量的驱动因素分析

碳排放的EKC模型假定相同的经济发展水平对碳排放量的影响是一致的，这是碳排放EKC模型的同质性假定。为了讨论不同因素对碳排放的影响，日本学者Kaya于1989年提出了Kaya恒等式[11]：

$$GHG = \frac{GHG}{TEN} \cdot \frac{TEN}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP \quad (3)$$

在式(3)中，GHG代表二氧化碳排放量，TEN代表煤炭、石油等化石能源的消耗量，GDP代表国内生产总值，POP代表总人口。

Kaya恒等式将碳排放量分解为如下四个驱动因子:

$\frac{GHG}{TEN}$ 是能源碳强度, 表示消耗单位标准煤所产生的碳排放量, 与该地区的节能减排技术有关, 定义为能源消耗因子; $\frac{TEN}{GDP}$ 是能源强度, 表示单位国民生产总值消耗的标准煤数量, 与该地区的能源构成比例有很大关系, 采取煤改气、煤改电策略, 或者增加太阳能、风能等零排放的新能源的使用, 能有效减少能源强度的值, 因此将能源强度定义为能源结构因子; $\frac{GDP}{POP}$ 是人均国民生产总值, 与地区经济有关, 定义为经济因子; POP是该地区的总人口数, 定义为人口因子。

将相邻两年碳排放量的变化量分解成四部分[12], 得:

$$\Delta GHG = \Delta GHG_1 + \Delta GHG_2 + \Delta GHG_3 + \Delta GHG_4 \quad (4)$$

(4)式中 ΔGHG_i 表示第*i*个驱动因子的变化引起的相应的碳排放量的变化。四个驱动因子相邻两年的变化量分别定义为影响碳排放量变化的能源消耗效应、能源结构效应、经济效应和人口效应。

根据长沙市统计年鉴收集长沙市2013~2019年的能源消耗数据, 计算碳排放量的四驱动因子值得表2:

Table 2. Data table of related variables of Kaya identity in Changsha City
表 2. 长沙市 Kaya 恒等式的相关变量数据表

年份	能源碳强度 (吨/吨)	能源强度 (吨/百万元)	人均 GDP (万元/人)	年末总人口 (百万)	碳排放量 (百万吨)	能源消费量 (吨标准煤)
2013	4.65801984	10.4597	8.872544	6.628122	28.652272	6151170
2014	4.78132196	9.514802	9.401591	6.714121	28.716945	6006068
2015	5.25274793	7.989072	10.51189	6.803579	30.012426	5713662
2016	5.13709265	7.515984	10.97906	6.959998	29.503772	5743282
2017	5.27833738	7.230861	11.65714	7.087939	31.535464	5974507
2018	5.61463673	6.36502	11.45088	7.288583	29.826579	5312290
2019	6.18660782	5.775094	12.3043	7.382401	32.453837	5245821

把碳排放量及四个驱动因子数据做一阶差分, 驱动因子的差分值看成是相应驱动因子对碳排放量的影响效应值, 得长沙市碳排放量各驱动因子的影响效应图 4。

由图4可以看出, 2013~2019年长沙市的人口效应都是正的, 经济效应只有2017~2018年是负的, 能源消耗效应只有2015~2016年是负的, 能源结构效应都是负的。碳排放量只有2015~2016年和2017~2018年是负的, 其他都是正的。2018~2019年碳排放量增加最多, 这时期能源消耗效应最大, 人口效应和经济效应也比较大, 而能源结构效应是比较接近于零的负数。2017~2018年碳排放量减少最多, 这时期的经济效应是负的, 能源结构效应是比零小很多的负数, 人口效应和能源消耗效应都是比较小的正数。

由上分析可得, 在2013~2019年促使长沙市碳排放量增加的主要原因是总人口的增长和人均GDP的增长, 其次是能源碳强度的增加。使碳排放量减少的驱动因素主要是能源结构的调整。长沙市要保持经济的快速发展, 人口效应和经济效应必定还会增加, 要实现国家提出的“双碳”目标, 只有大力推广应用节能减排技术, 减少单位标准煤消耗的碳排放量, 使能源消耗效应值变为负, 同时继续调整能源结构, 坚持实施“煤改电、煤改气”等政策, 努力推广使用太阳能、风能等零排放的新能源。

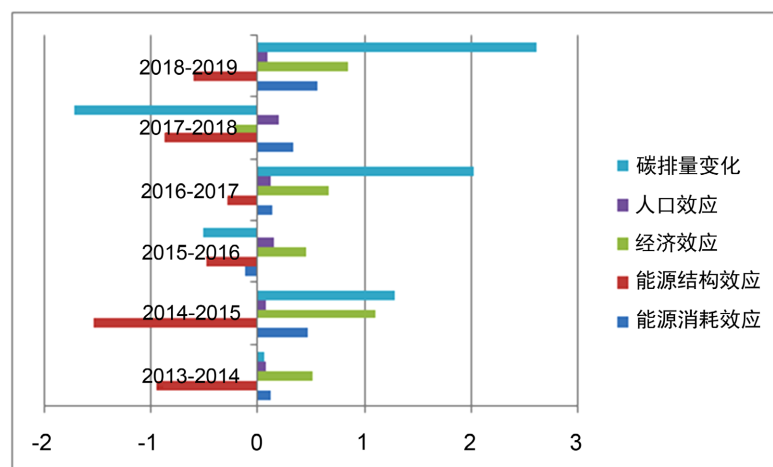


Figure 4. Influence effect of carbon emission drivers in Changsha
图 4. 长沙市碳排放量驱动因子影响效应图

5. 结论

2001~2019年,长沙市在实现经济快速发展的同时,有效控制了碳排放量的增加。在2005年后长沙市一直保持着“低碳”经济发展模式,在2018年暂时实现了国家碳达峰目标中的碳排放强度条件。根据EKC曲线模型估计,长沙市在2014年至2015年期间已经实现了碳达峰,但是估计存在误差,在2017年和2019年碳排放量又有所增加,没有真正实现碳达峰。基于Kaya恒等式把长沙市碳排放量分解成四个驱动因子,得出总人口数增加和人均GDP增加是长沙市碳排放量增加的主要因素,能源结构调整是碳排放量减少的主要原因。长沙市要早日完成国家提出的“双碳”目标,必须大力推广应用节能减排技术,同时继续调整能源结构,坚持实施“煤改电、煤改气”等政策,并且努力推广太阳能、风能等零排放的新能源的使用。

基金项目

湖南省大学生创新项目(S2021105360042);长沙理工大学教学改革研究项目(XJG21-113);2021年长沙理工大学本科教育回归分析“金课”建设项目。

参考文献

- [1] 鲁瑜.《巴黎协定》中的国家自主贡献机制研究[D]:[硕士学位论文].兰州:甘肃政法大学,2022.
- [2] 张跃胜,张少鹏,王晓红.“双碳”目标下低碳城市建设对城市高质量发展的影响——基于低碳城市试点政策的准自然实验[J].西安交通大学学报(社会科学版),42(5):39-48. <https://doi.org/10.15896/j.xjtuksxb.202205005>
- [3] Shan, Y.L., Guan, D.B., Zheng, H.R., et al. (2018) China CO₂ Emission Accounts 1997-2015. *Scientific Data*, **5**, Article No. 170201. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.201>
- [4] Shan, Y.L., Huang, Q., Guan, D.B. and Hubacek, K. (2020) China CO₂ Emission Accounts 2016-2017. *Scientific Data*, **7**, Article No. 54. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0393-y>
- [5] Guan, Y.R., Shan, Y.L., Huang, Q., Chen, H.L., Wang, D. and Hubacek, K. (2021) Assessment to China's Recent Emission Pattern Shifts. *Earth's Future*, **9**, e2021EF002241. <https://doi.org/10.1029/2021EF002241>
- [6] Shan, Y.L., Liu, J.H., Liu, Z., et al. (2019) An Emissions-Socioeconomic Inventory of Chinese Cities. *Scientific Data*, **6**, Article No. 190027. <https://doi.org/10.1038/sdata.2019.27>
- [7] 梁广华.基于EKC的中国人均CO₂排放量增长率影响因素研究[J].河南农业大学学报,2019,53(3):466-472. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.2019.03.020>
- [8] 张明志.经济增长与产业结构变动的碳排放效应研究[D]:[博士学位论文].济南:山东大学,2017.

- [9] 梁小林, 秦欢, 陈敏茹, 等. 基于 Adaboost-SVR 的我国碳排放强度分析与预测[J]. *经济数学*, 37(3): 167-173. <https://doi.org/10.16339/j.cnki.hdjjsx.2020.03.022>
- [10] 周凡. 天津市经济增长、产业结构对碳排放影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津财经大学, 2016.
- [11] 安璐. 基于 LMDI 的辽宁省建筑业碳排放影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.
- [12] Shan, Y.L., Guan, Y.R., Hang, Y., *et al.* (2022) City-Level Emission Peak and Drivers in China. *Science Bulletin*, **67**, 1910-1920. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2022.08.024>