

The Research Based on Kuznets Curve on the Relationship between Shanghai Economic Development and Environmental Pollution

Xuejiao Huang, Jiantao Lai, Jian Liu, Lingsen Kong, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian

Email: 524088993@qq.com, 1435488610@qq.com, 1145777124@qq.com, 498312408@qq.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

Received: May 7th, 2020; accepted: May 22nd, 2020; published: May 29th, 2020

Abstract

In a decision adopted at the Fourth Plenary Session of the 19th Central Committee of the Communist Party of China, it was pointed out that China will adhere to the basic national policy of saving resources and protecting the environment, implement the strictest ecological environment protection system, and establish a system of efficient utilization of resources. This decision shows China's determination and desire for environmental governance. The environmental governance cannot be separated from the role of economy, and the development of economy is closely related to the change of natural environment. Here, we select Shanghai, which has a rapid economic development, as the research object, and process and analyze the relevant data of Shanghai from 1995 to 2017 based on the Environmental Kuznets curve model (EKC), to verify whether there is a relationship between economy and environmental pollution in Shanghai according to the Kuznets curve hypothesis. The paper puts forward effective conclusions and suggestions.

Keywords

Shanghai, Kuznets Model, Environmental Pollution, Economic Development

基于库兹涅茨曲线的上海市经济发展与环境污染关系研究

黄雪娇, 来建涛, 刘 剑, 孔令森, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门

文章引用: 黄雪娇, 来建涛, 刘剑, 孔令森, 阎虎勤. 基于库兹涅茨曲线的上海市经济发展与环境污染关系研究[J]. 低碳经济, 2020, 9(2): 147-157. DOI: 10.12677/jlce.2020.92016

摘要

在中共十九届四中全会通过的一份决定中指出中国将坚持节约资源和保护环境的基本国策, 实行最严格的生态环境保护制度, 建立资源高效利用制度, 这一决定看出我国对环境治理的决心和愿望。而环境治理究其根本离不开经济的作用, 经济的发展与自然环境的变化也是息息相关, 在这里, 我们选取经济迅速发展的上海作为研究对象, 并基于环境库兹涅茨曲线模型(EKC)对上海市1995~2017年的相关数据进行处理和分析, 来验证上海的经济与环境污染之间是否符合库兹涅茨曲线假说, 从而提出有效的结论和建议。

关键词

上海市, 库兹涅茨模型, 环境污染, 经济发展

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

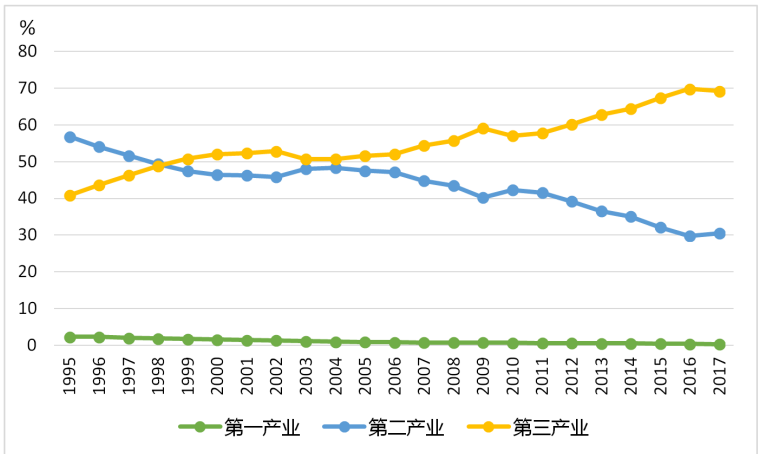
1. 环境库兹涅茨曲线的提出和发展

环境库兹涅茨曲线的提出, 始自 1991 年, 美国经济学家 Grossman 和 Krueger 等人用描述人均收入差异与经济发展阶段关系的库兹涅茨曲线来定量描述环境污染与经济发展的关系, 即环境库兹涅茨曲线 (Environmental Kuznets curve, EKC) [1]从此问世。自此, 后续针对 EKC 的研究也开始纷纷不断地进行, 梁四宝 2008 年[2]分析了山西省经济增长与环境质量变化之间的关系, 指出各污染排放量与人均实际 GDP 仍处于同步上升阶段; 欧一智、黄国勤(2008) [3]在研究环鄱阳湖生态经济区时发现, 并非所有的环境指标与人均 GDP 之间都符合标准的“倒 U”型曲线”关系, 有的呈现出“N 型关系”, 有的呈现出“U 型”+“倒 U 型”关系; 刘璨 2010 年[4]依托计量经济学模型, 研究认为我国的森林资源受到社会经济以及规章制度等多重因素影响存在着 EKC 倒“U”型曲线; 环境库兹涅茨曲线对于经济发展和环境治理层面具有重要价值, 决策部门可以依据该曲线不同阶段的特征, 制定不同的宏观调控政策, 以便经济与环境的持续协调健康发展, 所以研究环境库兹涅茨曲线具有重要意义。

2. 上海市产业结构特征和环境污染状况

2.1. 产业结构

上海市, 位于长江三角洲的核心区域, 在市场经济发展中, 依托其相应的地理环境和物质资源优势, 以及国家政策的扶持, 经济得到迅猛发展。如图 1, 自 1995 年以来, 第二产业 GDP 和第三产业 GDP 一直处于主体地位, 第二产业占主导。随着劳动力成本逐渐上涨, 制造业, 手工业等劳动密集型行业向其他低成本地区转移, 第三产业 GDP 逐渐追上并超越第二产业, 1999 年, 第三产业的 GDP 占比已超过 50%, 这意味着上海市产业结构的变革, 同时也奠定了上海市成为金融中心的基础。

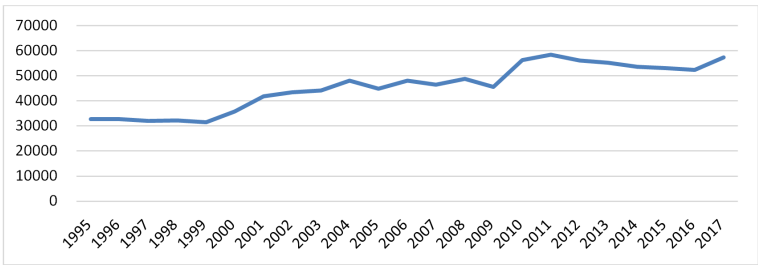


数据来源：上海统计局统计年鉴整理

Figure 1. Shanghai industrial structure proportion
图 1. 上海市产业结构比例

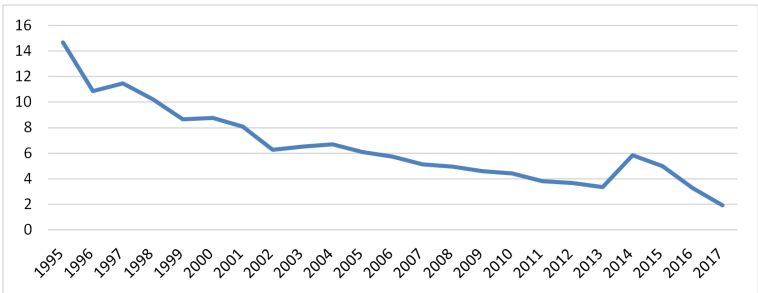
2.2. 环境污染状况

随着上海市产业结构向第三产业转移，重工业，制造业聚集的第二产业逐渐减少，随之而来的空气污染指标亦逐渐降低。从图 2、图 3、图 4 的各项排放指标趋势图可得，1995 年到 2011 年，人均工业废气排放量虽然呈现上升趋势，但从 2011 年之后有缓慢下降的趋势；人均烟尘排放量和人均 SO₂ 排放量则变化较明显，亦一直保持下降水平。所以从中不难看出，产业结构的转型对于空气污染状况存在着正向作用。



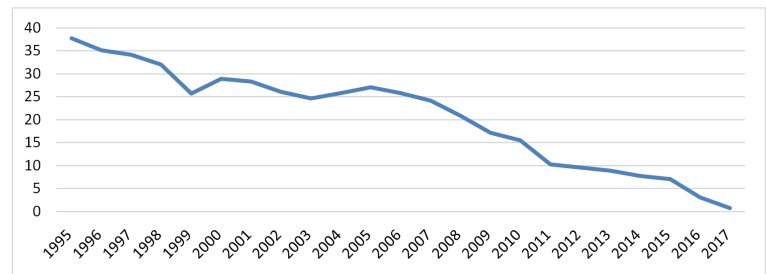
数据来源：上海统计局统计年鉴整理

Figure 2. Per capita industrial exhaust gas emission in Shanghai
图 2. 上海市人均工业废气排放量(m³)



数据来源：上海统计局统计年鉴整理

Figure 3. Per capita dust emission in Shanghai
图 3. 上海市人均烟尘排放量(kg)



数据来源：上海统计局统计年鉴整理

Figure 4. Per capita Sulfur dioxide emission in Shanghai

图 4. 上海市人均 SO₂ 排放量(kg)

本文通过引入切比雪夫多项式，对上海市的空气污染指标和经济发展指标进行预测，得出二者未来的拟合情况，并通过环境库兹涅茨曲线对二者进行分析，进而得出经济发展和空气污染之间的联系，以便为未来上海市的产业决策提供帮助，同时，这也是相对于传统环境库兹涅茨曲线研究的创新之处。

3. 库兹涅茨模型分析

3.1. 指标与数据选取

环境库兹涅茨曲线是库兹涅茨曲线(EKC)在环境治理分析领域的新应用，其主要关注经济发展与环境污染的关系。空气质量(即空气中污染物浓度)是目前 EKC 实证检验中最广泛使用的一类用以刻画环境污染程度的外生变量。因此，本研究选用人均工业废气、烟尘及 SO₂ 排放代表环境污染程度，上海市人均 GDP 作为衡量经济发展的指标。另外，因为空气污染与能源消耗息息相关，因此本文将能源消耗也列在研究范围之内。考虑到数据的可利用性及可获取性，本文利用上海市 1995~2017 年的统计数据来对环境库兹涅茨曲线进行时间序列的验证。具体描述如下表 1：

Table 1. Environmental pollution and economic indicators

表 1. 环境污染与经济指标

指标类别	指标描述
环境污染指标(E)	人均工业废气排放量(m ³ /人)
	人均烟尘排放量(kg/人)
	人均 SO ₂ 排放量(kg/人)
	人均能源消耗量(kg 标准煤/人)
经济发展指标(Y)	人均 GDP(元/人)

3.2. 模型建立

上世纪末，环境学家在把库兹涅茨曲线应用到环境治理分析领域后，发现环境污染与经济发展之间存在图 5 的特征。环境库兹涅茨曲线表现出在经济发展初期人类会牺牲环境以求经济增长；当经济发展到一定阶段，人均 GDP 超过 Y₀ 之后，随着经济结构的调整以及环保意识的增强，环境质量将持续得到持续改善。

在进行环境库兹涅茨曲线验证时，主要有采用横截面数据和时间序列数据两种方法。为了突出检验上海市空气质量与经济发展历程的关系，本文采用时间序列数据的方法。同时，描述库兹涅茨曲线模型的函数主要有：

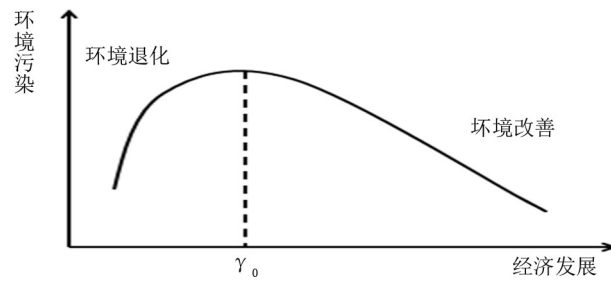


Figure 5. Environmental pollution and economic Kuznets curve chart

图 5. 环境污染与经济库兹涅茨曲线图

一次曲线:

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \mu_t$$

二次曲线:

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \mu_t$$

三次曲线:

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \mu_t$$

其中: E_t 为空气污染指标; Y_t 为经济发展指标; β_0 、 β_1 及 β_3 为待估参数; μ_t 为随机误差项。鉴于上海市经济指标与空气污染的情况, 选用二、三次曲线拟合度较高。因此本文选用二、三次曲线进行研究。建立空气污染指标与经济发展指标的库兹涅茨曲线模型可以分为四步。

第一步: ①利用第一类切比雪夫多项式且其插值和最佳一致逼近的性质得:

$$T_0(x) = 1$$

$$T_1(x) = x$$

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x)$$

②利用其可通过数学处理降幂的特点进行预测:

$$P(n) = a_0 + a_1 x + \cdots + a_n x^n \approx f(x)$$

因此对 GDP 数据进行预测, 得到 GDP 预测值的预测模型或表达式(如下公式)及 1995~2025 年的 GDP 预测值, 如表 2。

$$\text{GDP} = 50595.3274t_0 + 88614.1398t_1 + 15269.9209t_2 - 385.5329t_3$$

$$\text{GDP} = 75325.4065 + 1542.131689770.7385x + 30539.8418x^2 - 1542.1316x^3$$

Table 2. GDP prediction data

表 2. GDP 预测数据

年份	GDP	年份	GDP	年份	GDP	年份	GDP
1995	17,636.64	2003	40,240.02	2011	81,445.4	2019	139,849.1
1996	19,396.79	2004	44,402.18	2012	87,834.11	2020	148,288.9
1997	21,466.78	2005	48,852.26	2013	94,488.81	2021	156,972.8
1998	23,843.89	2006	53,587.51	2014	101,406.7	2022	165,897.9

Continued

1999	26,525.35	2007	58,605.19	2015	108,585.2	2023	175,061.7
2000	29,508.44	2008	63,902.56	2016	116,021.4	2024	184,461.2
2001	32,790.41	2009	69,476.88	2017	123,712.6	2025	194,093.9
2002	36,368.51	2010	75,325.41	2018	131,656.1	--	--

③对预测数据进行 T 检验，得到表 3：

Table 3. GDP prediction testing

表 3. GDP 预测值检验

相关性项目	R ²	T 检验值	相关系数
数值	0.9974	0.000	0.999

由此可以看出实际人均 GDP 与预测值相关性显著，预测值可以使用；进行预测时，回归系数接近于 1，拟合程度高。

第二步：使用各种库兹涅茨曲线对各空气污染指标与经济发展指标进行拟合，并得出回归系数，选择最优拟合方式，并得出回归系数。如表 4 所示。可以看出各空气污染指标与经济发展指标的回归系数皆比价接近于 1，所以曲线的拟合程度较高，具有较低的分析误差。

Table 4. Air pollution indicators Regression coefficients

表 4. 空气污染指标的回归系数值

指标	R ²
人均工业废气排放	0.8915
人均烟尘排放	0.7827
人均 SO ₂ 排放	0.9467
人均能源消耗	0.9687

第三步：对各空气污染变量与经济发展指标进行显著性分析，主要包括 T 检验和 F 检验。F 检验是检验整个模型的显著性，T 检验是检验各模型参数的显著性。结果如表 5。

Table 5. Air pollution indicators significance analysis

表 5. 空气污染指标的显著性分析值

指标	T 检验值	F 检验值
人均工业废气排放	4.291	128.080
人均烟尘排放	8.769	2.815
人均 SO ₂ 排放	8.766	4.705
人均能源消耗	8.382	27.987

采用 0.05 的置信系数，T 检验和 F 检验数值均在置信区间之内。因此可得，有理由相信各空气污染指标与人均 GDP 之间的显著性是高水平的。所以，选定的曲线都可以进行拟合使用，并可以看出除了人均烟尘的拟合曲线，所有的拟合曲线均为二次曲线。

第四步，通过在 Python 程序语言中建立代表库兹涅茨曲线模型的一般二次函数对人均工业废气排放、

人均烟尘排放、人均 SO₂ 排放及人均能源消耗进行模拟估计。函数模型如下：

$$Y_1 = \alpha_1 \text{GDP}_t^2 + \alpha_2 \text{GDP}_t + \alpha_3$$

$$Y_2 = \beta_1 \text{GDP}_t^2 + \beta_2 \text{GDP}_t + \beta_3 \text{GDP}_t + \beta_4$$

$$Y_3 = \gamma_1 \text{GDP}_t^2 + \gamma_2 \text{GDP}_t + \gamma_3$$

$$Y_4 = \delta_1 \text{GDP}_t^2 + \delta_2 \text{GDP}_t + \delta_3$$

其中， Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 为空气污染各指标， $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为各参数变量。经过模型回归分析得表 6：

Table 6. Results of function models

表 6. 函数模型结果

指标	C	Y_1	Y_1	Y_3
人均工业废气排放	2.059e+04	0.6656	-3.171e-06	--
人均烟尘排放	1 22.1	-0.0006647	8.259e-09	-3.368e-14
人均 SO ₂ 排放	40.01	-0.0003316	1.166e-10	--
人均能源消耗	2256	0.04862	-2.302e-07	--

C、 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 分别为常数项、一次项、二次项和三次项系数。

在对上述分析进行操作时，因为人均 GDP 为名义变量，所以在进行预测和拟合时，我们先对其用历年的 CPI 指数进行处理，使得其变为实际变量。

3.3. 模拟结果描述

通过 Python 根据以上函数进行计算，可得各项空气污染的人均排放的转折点数据和时间为表 7，另外具体的关系趋势的预测为图 6、图 7、图 8、图 9、图 10。

Table 7. Turning points in per capita emission of environmental pollution and time prediction

表 7. 环境污染人均排放量转折点及时间预测

指标	曲线形状	转折点 1	时间	预测 GDP	转折点 2	时间	预测 GDP
人均工业废气排放	倒 U 型	55,504.6662	2014	101,406.7488			
人均烟尘排放	倒 N 型	4.4945	2009	69,476.8802	4.6356	2013	94,488.8108
人均 SO ₂ 排放	递减型						
人均能源消耗	倒 U 型	4823.7222	2015	106,237.3151			

3.3.1. 人均 GDP 预测

从图 6 可知，随着经济的发展，虽然上海市的常住人口在逐年增加，从 1995 年的 1414 万增加到 2017 年的 2418.33 万，增长人口超过 1000 万，并且预计未来还会增长。但是由于经济增长速度远超人口规模的增长，所以人均 GDP 自 1995 年便开始增加。并且增长曲线向下弯曲，斜率随时间序列增大，说明 GDP 增长速度显著大于常驻人口增长速度，并有拉大的趋势。预测人均 GDP 在 2014 年超过 10 万元，在 2025 年接近 20 万元。

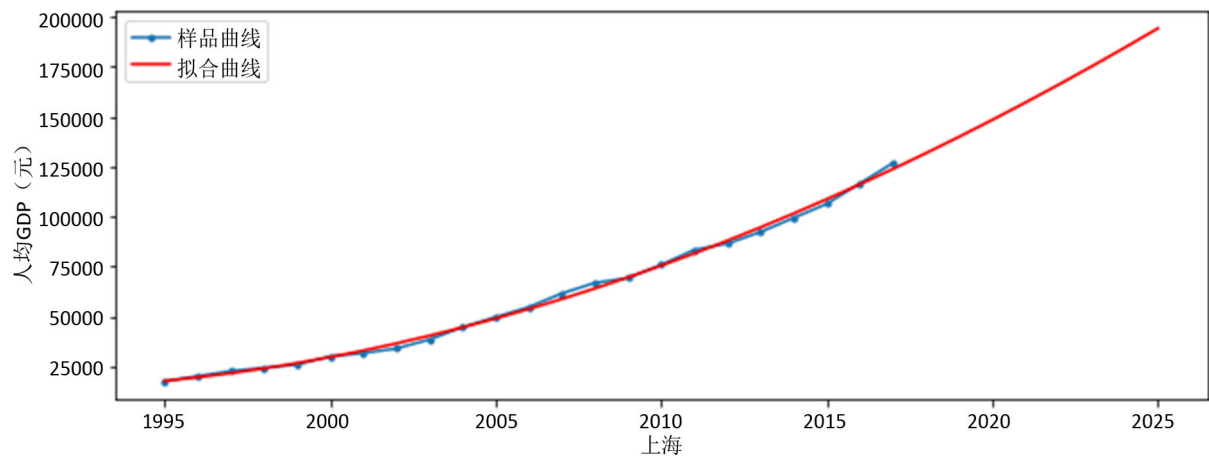


Figure 6. Per capita GDP prediction
图 6. 人均 GDP 预测图

3.3.2. 人均工业废气排放分析

如图 7 所示, 人均工业废气排放与预测人均 GDP 的拟合图像成比较完美的倒“U”型图像。一开始随着经济的发展, 人均 GDP 的提高, 人均工业废气排放也逐步增多, 直到人均工业废气排放量达到 55,504.67 立方米的高点; 之后人均工业废气排放量随经济的增长而逐步减少。大约在 2014 年达到转折点, 对应的预测人均 GDP 为 101,406.75 元/人。目前已经越过转折点, 说明随着经济的继续发展, 人均工业废气排放量将继续下降。

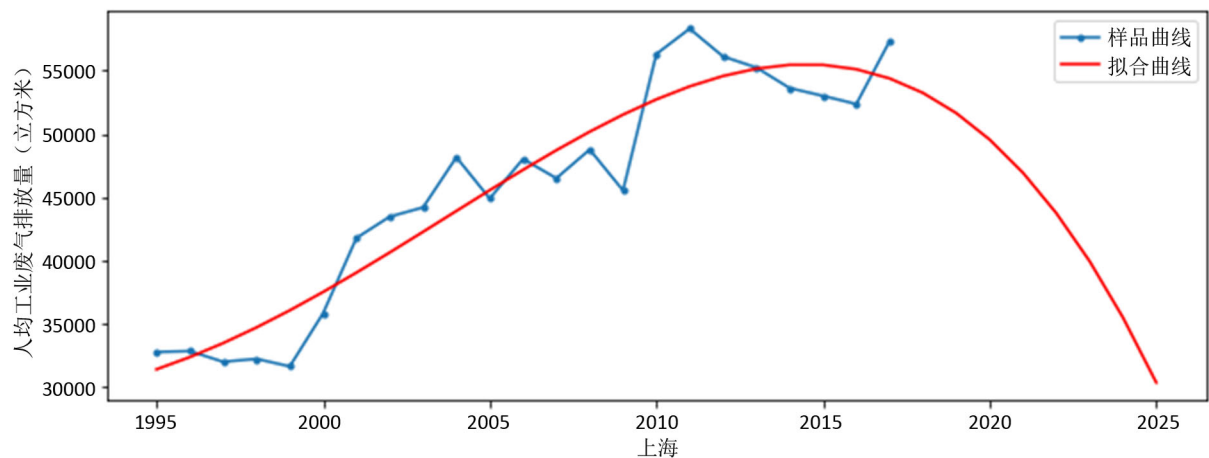


Figure 7. Per capita industrial exhaust gas emissions and GDP prediction fitted
图 7. 人均工业废气排放与预测人均 GDP 拟合图

3.3.3. 人均烟尘排放分析

如图 8 所示, 人均烟尘排放与经济增长指标的拟合图像成倒“N”型图像。在第一个转折点之前, 随着人均 GDP 的增长, 人均烟尘呈递减趋势。在 2009 年, 到达第一个转折点, 此时人均排放烟尘量为 4.49 Kg/人, 对应的预测人均 GDP 为 69,476.88 元/人。此后, 人均排放烟尘量将有小幅增长, 根据图像所示, 增长幅度极小。在 2013 年到达第二个人转折点, 此时人均烟尘排放量为 4.64 Kg/人, 对应的预测人均 GDP 为 94,488.81 元/人。此后, 人均烟尘排放量将随人均 GDP 的增长而下降。目前已越过第二个转折点, 所以经济的发展则有利于人均排放烟尘量的继续改善。人均烟尘排放量与经济发展指标呈倒“N”

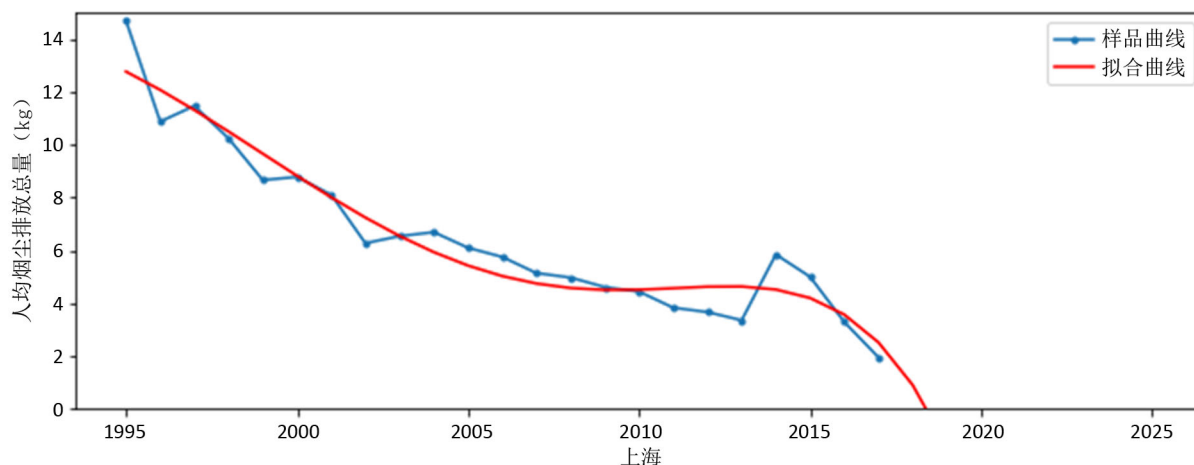


Figure 8. Per capita dust emissions and GDP prediction fitted

图 8. 人均烟尘排放与预测人均 GDP 拟合图

型，与上海市的产业政策密切相关。早在“十五”“十一五”计划，上海就严格控制工业窑炉排放情况，所以开始逐步降低，但是在 2008 年美国金融危机之后，国内采取强经济措施，促进经济发展。可能以此放宽了钢铁等行业标准，使得人均烟尘排放略有增加。而之后随着供给侧改革的进行，则使得落后产能逐步被清退，人均排放烟尘指标回归递减状态。

3.3.4. 人均 SO_2 排放分析

如图 9 所示，人均 SO_2 排放与预测人均 GDP 拟合图像不能呈现库兹涅茨曲线的倒“U”型，而是人均 SO_2 排放随着人均 GDP 的增长而呈递减的趋势。图像略向上凸，所以斜率先增大后减小，说明人均 SO_2 的递减速度先减小后增大。在 2018 年，人均 SO_2 排放量趋向于 0，对应的预测人均 GDP 为 131,656.08 元/人。由图像可推测，在上海市工业化的进程中，实施了针对治理 SO_2 排放的政策，是得其呈现逐步递减的趋势。

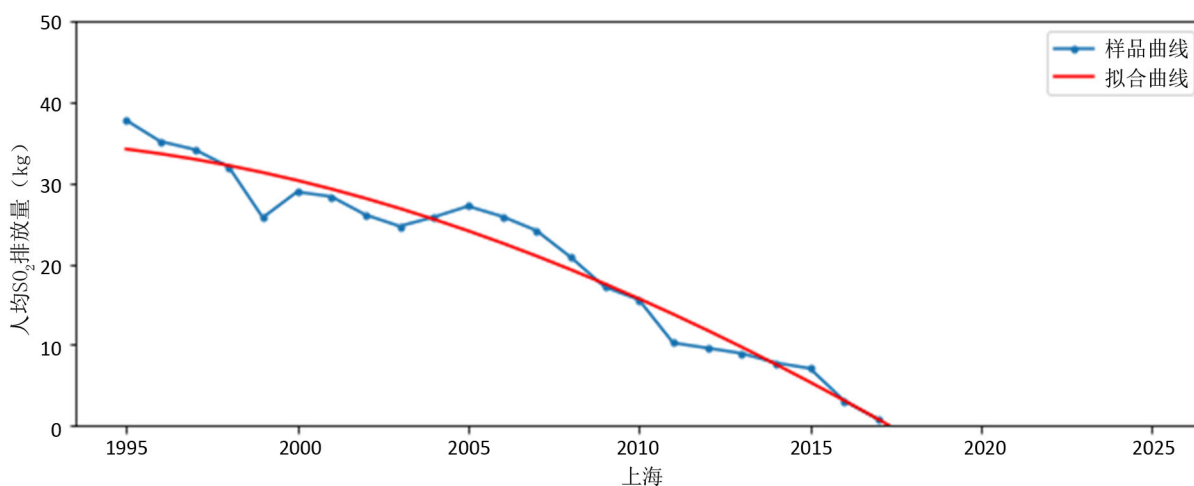


Figure 9. Per capita sulfur dioxide emissions and GDP prediction fitted

图 9. 人均 SO_2 排放与预测人均 GDP 拟合图

3.3.5. 人均能源消耗分析

如图 10 所示，人均能源消耗与人均 GDP 拟合图像呈现库兹涅茨曲线的倒“U”型图形。转折点在

人均能源消耗为 4823.72 Kg/人处取得,此时为 2015 年,对应的预测人均 GDP 为 106,237.32 元/人。在图像高点左侧,人均能源消耗随人均 GDP 的增长而增长;在右侧则随人均 GDP 的增长而递减。现在已经越过转折点,所以经济的发展可以进一步使人均能源消耗降低,从而间接降低空气污染指标物质的人均排放。

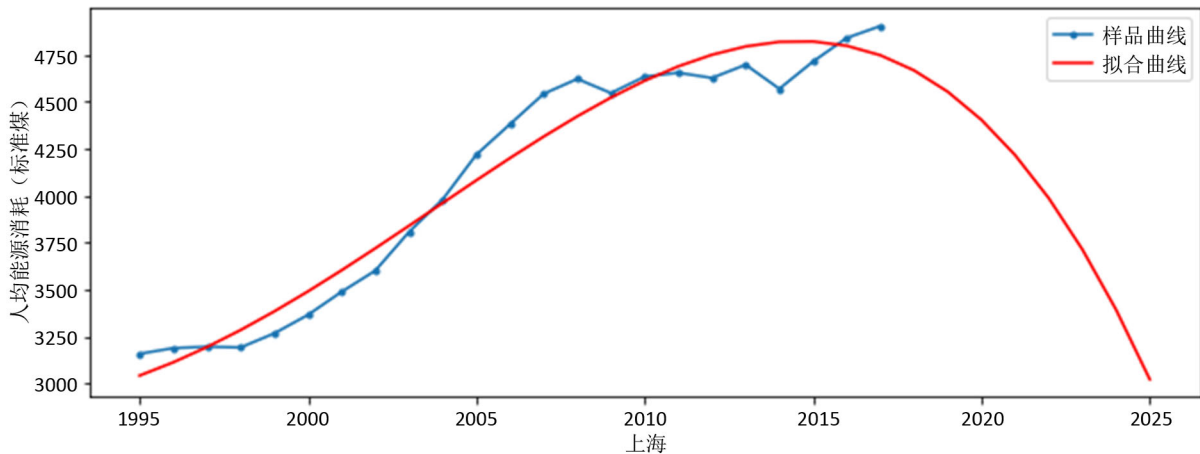


Figure 10. Per capita consumption and GDP prediction fitted
图 10. 人均消耗与预测人均 GDP 拟合图

从如上四个拟合图像来看,除人均 SO_2 因上海市空气治理政策影响,而随人均 GDP 增长降低而降低外,其余三个拟合图像均符合环境库兹涅茨曲线的特征,并且可以发现转折点基本都在在 2013~2015 年达到(人均烟尘排放与人均预测 GDP 的拟合图像指第二个转折点),所以可以看出上海市基本在 2014 年前后实现了经济的转折。之前因为经济发展落后,而只顾经济增长而忽略环境保护,使得在人均 GDP 增长的同时,空气污染物排放量也大量增加。而 2014 年前后经济转型,通过制定环保措施、产业政策等,使得高耗能、高污染企业减少,而对环境污染较小的高科技企业增多,从而实现经济与空气质量的协调作战。

4. 结论

4.1. 结论与发现

本文通过对上海市 1995~2017 年经济发展与环境污染状况的趋势分析,分别选取代表性的环境经济指标,人均工业废气排放量,人均烟尘排放量,人均 SO_2 排放量,人均能源消耗量以及人均 GDP,利用切比雪夫多项式,参考库兹涅茨曲线模型,验证各人均污染排放量与人均 GDP 是否符合库兹涅茨曲线的走势,得出如下结论:

- 1) 由于近年来经济增长速度远超于人口增长速度,所以人均 GDP 增速明显。加上近年来,上海市以加大第二产业和第三产业为主,劳动密集型产业遂逐渐减少,转而代之的是机械化生产,所以其对人的需求不像以往急切,这也进一步体现人口增长速度小于经济增长速度这一现象。
- 2) 选取的上海市几项环境指标与人均 GDP 建立的二、三次回归曲线模型整体拟合较好,均通过 T 检验,有些通过 F 检验,回归方程显著。人均工业废气排放量与人均 GDP 的拟合结果和人均能源消耗与人均 GDP 的拟合结果,均呈现清晰的倒“U”型特征;而人均烟尘排放量与经济发展指标则成倒“N”型,这与上海市的产业政策密切相关,上海市很早便开始控制工业窑炉的排放量;人均 SO_2 排放量与经济指标的拟合结果最特殊,呈逐渐递减型,这是受上海市的空气政策所致。

即使环境库兹涅茨曲线受国家地区政策的干扰，常常出现与演示结果不符的情况，但其对于区域经济建设 and 环境治理也有一定的参考意义。如果只注重经济发展，而忽视环境恶化表现，那么受伤害的环境会反过头来，制造障碍阻止经济发展，所以现在必须要意识到环境保护的严重性，国家应出台相关法律制度震慑不良行为；公民个人也要树立环保意识，文明生活。

4.2. 缺陷与不足

由于原始数据严重受限，时间序列的样本仅从 1995 年~2017 年的取值，样本量小，说服力较为有限。如果使用更小刻度的计量如季度或者月度的数据，实证研究也更有意义。另外，对环境污染的指标选取较为有限，EKC 对其他污染(诸如水污染、固体废弃物等)是否成立，还需进一步研究。

基金项目

本论文得到了厦门国家会计学院 2019 年“云顶课题：Python 财务数据分析”项目的支持。

参考文献

- [1] Grossman, G.M. and Krueger, A.B. (1995) Economic Growth and Environment. *The Quarterly Journal of Economic*, **110**, 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- [2] 梁四宝. 经济增长与环境质量——基于山西省环境库兹涅茨曲线的实证检验[J]. 经济管理, 2008(Z3): 50-54.
- [3] 欧一智. 环鄱阳湖生态经济区环境库兹涅茨曲线特征及分析[A]. 中国可持续发展大会.2008 中国可持续发展论坛论文集(1) [C]. 中国可持续发展研究会, 2008: 6.
- [4] 刘璨, 吕金芝. 中国森林资源环境库兹涅茨曲线问题研究[J]. 制度经济研究学, 2012(2): 138-161.