

An Empirical Study on the Relationship between Economic Growth and Environmental Pollution in Jiangxi Province Based on Kuznets Curve

Hengjian Liao, Yuming Li, Liangmei Feng, Rongting Shang, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian

Email: 1107225563@qq.com, 895642843@qq.com, 15279102239@163.com, 1612823473@qq.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

Received: Apr. 7th, 2020; accepted: Apr. 30th, 2020; published: May 7th, 2020

Abstract

This paper adopts the environmental economic data of Jiangxi province from 2003 to 2017, and selects the representative indicators of environmental pollution and economic development. Then this paper constructs a measurement model of Jiangxi province's per capita waste water discharge, per capita industrial waste discharge, per capita industrial solid waste discharge and per capita GDP, so as to make an empirical analysis of the Kuznets Curve characteristics of Jiangxi province's environmental pollutant discharge. The results show that Jiangxi province from 2003 to 2017 per capita waste water emissions, per capita industrial emissions, per capita industrial solid waste emissions and per capita GDP fitting curve shows an inverted "U" curve relationship, the overall environmental situation is good development.

Keywords

Environmental Kuznets Curve, Jiangxi Province, The Environmental Pollution, The Economic Development

基于库兹涅茨曲线的江西省经济发展与环境污染关系研究

廖恒坚, 李昱明, 冯亮梅, 商荣廷, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门

摘要

本文采用2003至2017年江西省环境经济数据,选取其中具有代表性的环境污染与经济发展指标,构建了江西省人均废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业固体废物排放量与人均GDP的计量模型,从而对江西省环境污染物排放的库兹涅茨曲线特征进行了实证分析。结果表明:江西省2003至2017年人均废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业固体废物排放量与人均GDP拟合曲线呈现倒“U”型曲线关系,环境状况总体向好发展。

关键词

环境库兹涅茨曲线, 江西省, 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. 引言

1995年诺贝尔奖获得者、经济学家库兹涅茨提出收入不均现象会随经济增长先升后降而呈倒U型曲线关系。基于此,1993年帕纳约托首次提出环境质量与人均收入之间的关系曲线——环境库兹涅茨曲线(EKC),该曲线得出环境质量刚开始随着人均GDP的上升而恶化,但人均GDP上升到一定程度后又随收入增加而改善,即环境质量与收入间呈倒U型关系。此后,EKC进入广大学者视野,实证研究层出不穷且研究结论不一,得出倒U型、U型、N型等形状曲线,这也正面印证了环境与经济发展间的关系是个复杂的问题,因为曲线形状可能因对象、环境污染指标、时期的不同而不同。根据相关定义及研究不难得出,EKC是一条经验曲线,描述的是一种普遍规律而不是必然规律,并不能说明人均GDP和广泛存在的各种环境之间存在必然联系。虽然环境具有一定的自动净化功能,但毕竟能力有限,优化环境更有赖于全社会环保意识的提高、限制污染的环境政策的实施,同时还需要技术进步的支持。所以本文将对江西省经济和环境指标间的关系进行拟合,并对拟合结果进行分析,以期对江西省的经济合理发展提供相关建议。

2. 环境库兹涅茨曲线

2.1. 文献综述

通过查阅相关文献得出,目前关于库兹涅茨曲线的研究多跟环境有关。颜蕾(2014)引用重庆市1995~2012年的经济增长与工业三废的数据构建模型后,得出重庆市的环境库兹涅茨曲线(EKC)呈倒“U”型和倒“N”型,并对该市提出调整能源结构的建议[1]。张冬咏、唐恬(2018)通过研究郑州市指标,得出的拟合曲线形状基本符合EKC的“N”形和倒“U”型,最后给郑州市提出了可持续发展的政策建议[2]。

李水平、张丹(2014)通过研究湖南省 1997~2011 年间的 GDP 和多个污染指标数据发现, 该省城镇化发展与 6 类污染指标呈现了 N 型、倒 U 型和倒 N 型关系, 分析各市区发展情况后得出城镇化发展中的环境保护问题依然至关重要[3]。周雪晴(2015)对我国西南部 5 省农业污染情况与经济的 EKC 关系进行实证分析, 最终拟合得出的 EKC 呈现“N”型或倒 U 型, 并根据结论提出了相关的政策建议[4]。郭嘉铭(2015)等分析了呼和浩特市经济增长和工业废气排放量的关系后, 发现工业废气和工业固废排放量与经济增长呈正相关, 建议该市政府应该优化产业结构和增加环境投资, 以实现经济环境协调发展[5]。杨丽霞(2010)通过对浙江省的环境和经济进行实证研究得出, 污染排放工业三废指标并不呈现倒“U”型走势, 但却符合“N”型和向右上方倾斜的直线趋势[6]。Berna Aydoğan, Gülin Vardar (2020)研究了 E7 国家的人均二氧化碳排放量、经济增长、农业增加值、可再生能源和不可再生能源消耗之间的动态联系, 并调查了 1990~2014 年间一组 E7 国家的环境 EKC 假设的存在性, 最终发现 EKC 呈倒“U”型[7]。Chen Xi 等(2020)基于碳库兹涅茨曲线(CKC)作为预测峰的理论模型, 研究预测了我国四大碳排放行业(即工业、建筑、交通和农业)的峰值, 得出我国碳排放量将在 2036 年达到峰值[8]。沈琼、邓文刚(2020)以河南省 2000~2017 年的数据为样本, 对水污染与经济发展之间的关系进行分析, 最终拟合的 EKC 呈现出波浪型和倒“N”型两种情况, 得出在推进城市化与工业化发展的同时应兼顾水治理问题[9]。

2.2. 模型原理

根据环境库兹涅茨曲线的倒“U”型假说的理论、相关文献, 以及江西省环境污染现状可以推断出, 一个区域的环境污染与经济增长之间并非简单的线性关系, 故本文选取 EKC 的一次曲线模型、二次曲线模型、三次曲线模型分别对自变量(经济指标: 调整得到的江西省 2003~2017 年实际 GDP)和因变量(环境指标: 工业废气排放量、工业固体废物产生量、废水排放量)进行拟合, 其计量模型为:

$$y = \alpha_1 x + \alpha_0 \quad (1)$$

$$y = \alpha_2 x^2 + \alpha_1 x + \alpha_0 \quad (2)$$

$$y = \alpha_3 x^3 + \alpha_2 x^2 + \alpha_1 x + \alpha_0 \quad (3)$$

在上述方程中, y 代表江西环境三大指标值, x 代表江西省实际 GDP, α_0 为常数项, α_1 、 α_2 、 α_3 为待定系数, α_1 、 α_2 、 α_3 的取值不同, 即可得到不同的经济水平和环境污染之间相关关系及曲线形态。环境库兹涅茨曲线的系数、曲线形状、环境和 GDP 之间的关系可得出表 1:

Table 1. Relations between EKC, curve shape, environment and GDP

表 1. 环境库兹涅茨曲线的系数、曲线形状、环境和 GDP 之间的关系

	待定系数	EKC 曲线形状	环境和 GDP 间的关系
1	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$	水平线	不相关, 无影响
2	$\alpha_1 > 0, \alpha_2 = \alpha_3 = 0$	线性正相关	GDP 增长, 环境恶化
3	$\alpha_1 < 0, \alpha_2 = \alpha_3 = 0$	线性负相关	GDP 增长, 环境改善
4	$\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 = 0$	倒“U”型	环境随 GDP 增加先恶化后改善
5	$\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 = 0$	“U”型	环境随 GDP 增加先改善后恶化
6	$\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 > 0$	“N”型	一定范围内, 跟第 4 种情况类似, GDP 超出范围后环境进一步恶化
7	$\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 < 0$	倒“N”型	一定范围内, 跟第 5 种情况类似, GDP 超出范围后环境进一步改善

在了解模型原理后, 找出相关数据, 然后进行拟合, 通过看相关系数 R_Square 和预测结果来选定最优模型和方程。

3. 实证分析

3.1. 数据来源

本文选取 2003~2017 年江西省环境与经济数据为样本数据, 采用环境库兹涅茨曲线来实证分析江西省的经济增长与其环境污染之间的关系, 并预测其在 2018~2023 年的演变趋势, 以寻求二者的平衡点, 进而为政府实施宏观经济调控以及制定环境保护政策提供建议, 助推江西省经济的高质量发展。

衡量一个地区经济发展状况的指标主要有宏观和微观两大类, 国际上通常使用宏观经济指标中的人均 GDP 作为衡量标准[10]。为减少可能因价格因素导致的数值偏差, 需将《江西省统计年鉴》上 2003~2017 年的名义 GDP 调整为实际 GDP [11]。又因无法从国家统计局等官方渠道获得同期的江西省 GDP 平减指数, 本文采用以下两种方法分别计算得到 2003~2017 年江西省实际 GDP:

- 使用从世界银行网站¹查询的中国 2003~2017GDP 平减指数, 用于计算实际 GDP:

$$\text{实际 GDP} = \text{名义 GDP} / (1 + \text{GDP 平减指数}/100) \quad (4)$$

- 从《江西省统计年鉴》中查询到以 1978 年为基期的地区 GDP 指数(1978 年的 GDP 指数为 100), 用地区 GDP 指数换算得到 2003~2017 年江西省实际 GDP:

$$\text{实际 GDP} = \text{基期江西省实际 GDP} * (\text{当期地区 GDP 指数}/100) \quad (5)$$

本文借用 Python 软件, 建立一般多项式, 分别以上述两种方法计算得到的江西省 2003~2017 年实际 GDP 作为自变量, 对相应的环境指标进行预测。表 2 的结果显示, 使用两类数据得出的多项式方程, 其拟合度(R^2)都在 0.9 以上, 但采用方法一的实际 GDP 数据时, 拟合度更高一些; 且考虑到以 1978 年为基期的地区 GDP 指数调整得到实际 GDP 金额与名义 GDP 金额相差较大, 在后续查看预测结果时存在一定不便之处。

Table 2. Actual GDP of Jiangxi province from 2003 to 2017

表 2. 2003~2017 年江西省实际 GDP 测算

年份	名义 GDP (亿元)	GDP 平减指数 (中国)	地区 GDP 指数 (江西)	实际 GDP (方法一, 亿元)	实际 GDP (方法二, 亿元)
2003	2,087.41	2.6054	981.9000	2736.12	854.25
2004	3,456.70	6.9543	1,111.5000	3231.94	967.01
2005	4,056.76	3.9026	1,254.9000	3904.38	1,091.76
2006	4,820.53	3.9279	1,409.2000	4638.34	1,226.00
2007	5,800.25	7.7492	1,595.3000	5383.10	1,387.91
2008	6,971.05	7.7918	1,807.4000	6467.14	1,572.44
2009	7,655.18	-0.2105	2,046.0000	7671.33	1,780.02
2010	9,451.26	6.8811	2,332.5000	8842.77	2,029.28
2011	11,702.82	8.0756	2,621.7000	10828.36	2,280.88
2012	12,948.88	2.3351	2,910.1000	12653.40	2,531.79
2013	14,410.19	2.1610	3,204.0000	14105.37	2,787.48
2014	15,714.63	0.7912	3,514.8000	15591.27	3,057.88
2015	16,723.78	0.0627	3,834.6000	16713.30	3,336.10
2016	18,499.00	1.0728	4,179.7000	18302.65	3,636.34
2017	20,006.31	3.8842	4,547.6000	19258.28	3,956.41

资料来源: 江西省统计年鉴、世界银行。

¹世界银行 <https://data.worldbank.org.cn/>。

所以, 本文将采用方法一(中国 2003~2017GDP 平减指数)调整得到的江西省 2003~2017 年实际 GDP 作为自变量。

环境指标选取方面, 本文选择“工业废气排放量、工业固体废物产生量、废水排放量”三个典型指标, 相关数据如表 3 所示:

Table 3. Environmental index data of Jiangxi province from 2003 to 2017

表 3. 2003~2017 年江西省环境指标数据

年份	实际 GDP (亿元)	工业废气排放量 (亿 m ³)	工业固体废物产生量 (万吨)	废水排放量(万吨)
2003	2736.12	3,202.00	6,181.82	118,739.00
2004	3231.94	3,972.00	6,524.26	120,092.00
2005	3904.38	4,378.00	7,006.71	123,320.00
2006	4638.34	5,096.00	7,392.64	130,183.00
2007	5383.10	6,103.00	7,777.28	141,266.69
2008	6467.14	7,456.00	8,190.35	138,909.00
2009	7671.33	8,286.00	8,898.18	147,080.54
2010	8842.77	9,812.00	9,407.30	160,661.00
2011	10828.36	16,102.00	11,372.43	194,431.55
2012	12653.40	14,814.00	11,133.60	201,189.71
2013	14105.37	15,573.00	11,518.19	207,137.56
2014	15591.27	15,613.00	10,821.21	208,289.04
2015	16713.30	17,054.00	10,776.68	223,232.28
2016	18302.65	15,162.00	12,665.33	221,091.88
2017	19258.28	15,065.00	12,340.92	189,362.32

资料来源: 江西省统计年鉴表格 2。

图 1 显示, 2003~2017 年江西省实际 GDP 总体呈直线上升趋势; 废水排放量总体呈上升趋势, 在 2015 年达到峰值 223,232.28 万吨, 而后开始逐年下降。

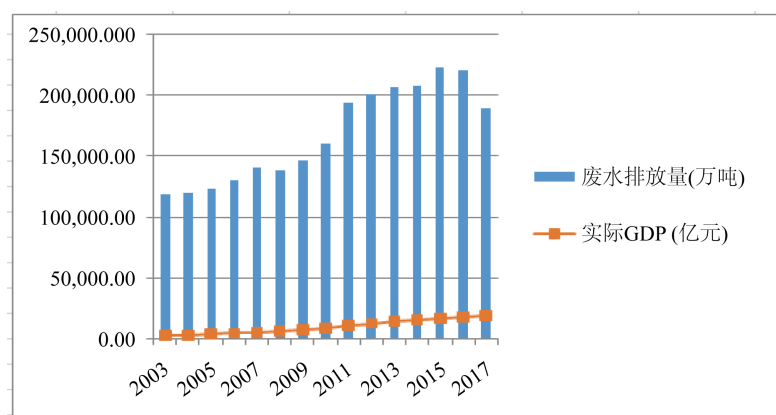


Figure 1. Actual GDP and wastewater discharge of Jiangxi province from 2003 to 2017

图 1. 2003~2017 年江西省实际 GDP 与废水排放量

图 2 显示，2003~2017 年，江西省工业废气排放量与工业固体废物产生量两个指标都总体呈上升趋势。工业废气排放量从 2015 年开始，逐年下降；工业固体废物产生量在 2011~2015 年缓慢下降后，又开始呈上升趋势。

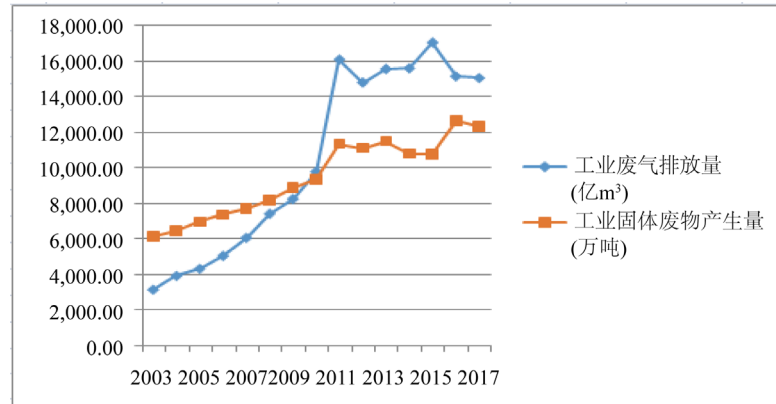


Figure 2. Industrial exhaust emissions and industrial solid waste production in Jiangxi province from 2003 to 2017

图 2. 2003~2017 年江西省工业废气排放量与工业固体废物产生量

3.2. 拟合结果及分析

3.2.1. 人均 GDP 切比雪夫多项式的拟合

首先，我们用切比雪夫多项式对江西省人均 GDP 进行拟合，来预测其未来人均 GDP 的走势，根据表 4 可得，切比雪夫多项式对人均 GDP 拟合结果理想。由图 3 可以看出，江西省人均 GDP 随着时间的推移将会一直上涨，保持稳定的增长势头。

Table 4. GDP per capita fitting equation

表 4. 人均 GDP 拟合方程式

方程式	R_Square	R_Sqrt	Adjusted R_Square	Spread of the Error	Root Mean Squared Error	切比雪夫方程式	一般方程式
切比雪夫	0.99	0.99	0.99	1139	1019	$GDP = 3352T_0 + 31606T_1 + 3630T_2$	$GDP = 29722 + 31606T + 7260T^2$

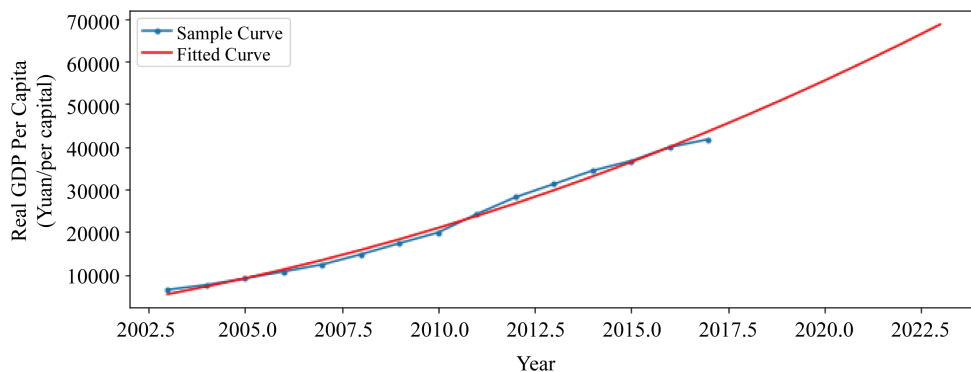


Figure 3. Fitting graph of Chebyshev model of per capita GDP of Jiangxi province

图 3. 江西省人均 GDP 切比雪夫模型拟合图

3.2.2. 废水排放量的方程拟合

由表 5 可以看出，在江西省人均 GDP 与人均废水排放量的 3 种拟合方程中，三次曲线模型中的 R_Square 值最大为 0.91，说明三次曲线模型在此次拟合中拟合结果比较理想。但是，由于样本数据较小，利用三次曲线模型预测未来人均废水排放量时会出现负值，同时在二次曲线模型与三次曲线模型拟合程度相差不大的情况下，我们在这里选择二次曲线模型作为此次江西省人均 GDP 与人均废水排放量最终的回归方程： $人均废水排放量 = -0.0000167X^2 + 1.378X + 17470$ 。

通过对图 4、图 5 和图 6 的拟合曲线对比，我们选择图 5 作为最终拟合曲线。江西省人均 GDP 与人均废水排放量之间呈“倒 U 型”关系，基本和库兹涅兹曲线相吻合。意味着随着江西省人均 GDP 的增加，人均废水排放量历经先增加后减少的过程，根据二次曲线模型拟合得出的极值点可知，当江西省人均 GDP 达到 41481 元/每人时，人均废水排放量达到 46229 千克/每人的最大值，之后便随着人均 GDP 的增长而减少。时间大概对应的是 2017 年前后达到顶峰。

Table 5. Fitting equation of wastewater discharge per capita

表 5. 人均废水排放量拟合方程式

方程式	R_Square	R_Sqrt	Adjusted R_Square	Spread of the Error	Root Mean Squared Error	回归方程	极值点
一次	0.86	0.93	0.85	3107.58	2893.00	$Y = 0.5963X + 244420$	/
二次	0.91	0.95	0.89	2570.42	2299.06	$Y = -0.0000167X^2 + 1.378X + 17470$	[41481, 46229]
三次	0.96	0.98	0.95	1691.62	1448.61	$Y = -0.000000001785X^3 + 0.0001111X^2 - 1.268X + 32410$	[34656, 47584] [6832, 28363]

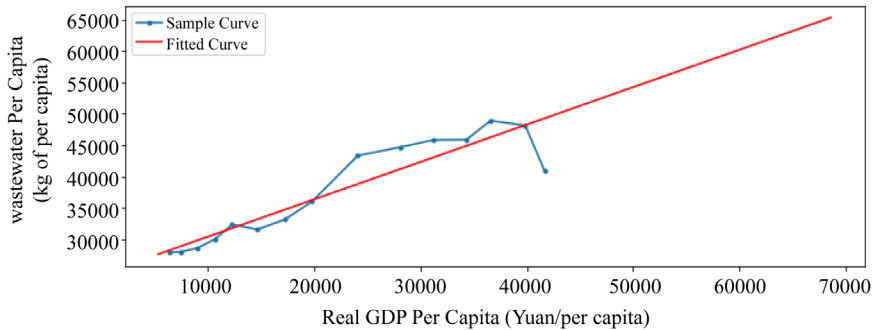


Figure 4. Fitting diagram of linear model of wastewater discharge per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 4. 江西省人均废水排放量与人均 GDP 线性模型拟合图

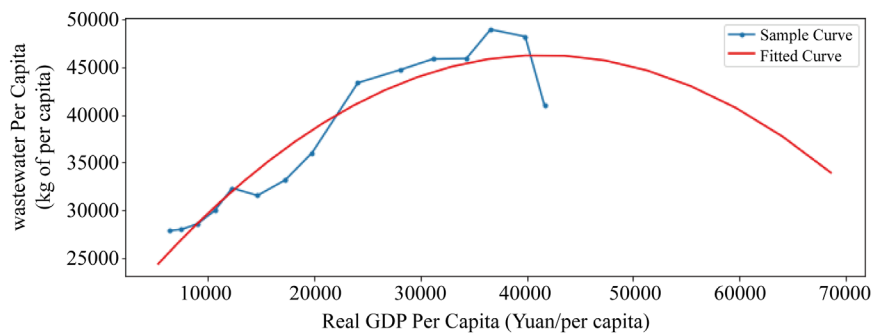


Figure 5. Fitting graph of conic curve model of per capita wastewater discharge and per capita GDP of Jiangxi province

图 5. 江西省人均废水排放量与人均 GDP 二次曲线模型拟合图

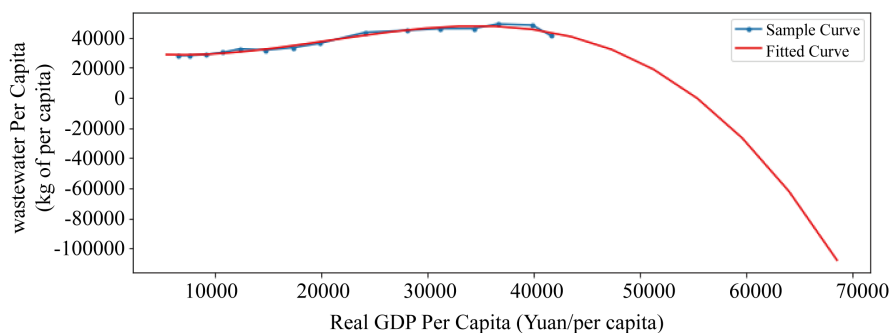


Figure 6. Fitting graph of cubic curve model of wastewater discharge per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 6. 江西省人均废水排放量与人均 GDP 三次曲线模型拟合图

3.2.3. 工业废气排放量的方程拟合

三种拟合方程分别对江西省人均 GDP 与人均工业废气排放量进行了拟合分析，结果见表 6。其中，三次曲线模型的 R_Square 达到 0.97，拟合优度最佳。但是还是因为样本数据较小的原因，利用三次曲线模型预测未来人均工业废气排放量的时候会出现负值，因此，我们在这里仍然是选取拟合效果同样很好的二次曲线模型来预测江西省人均 GDP 和人均工业废气排放量的回归方程式： $Y = -0.00003091X^2 + 2.31X - 8341$ 。

根据方程拟合结果以及图 7、图 8 和图 9 对比可以看出，江西省人均 GDP 与人均工业废气排放量两者之间呈现倒“U”型曲线特征，基本与环境库兹涅茨曲线相吻合。意味着随着人均 GDP 的增长，江西省工业废气排放量会先增加、再减少。同时，根据二次曲线模型拟合得出的极值点可知，当江西省人均 GDP 达到 37365 元/每人时，人均工业废气排放量达到 34814 千立方米/每人的最大值，之后便随着人均 GDP 的增长而减少。时间大概对应的是 2015~2016 年之间达到顶峰。

Table 6. Fitting equation of per capita industrial exhaust emissions

表 6. 人均工业废气排放量拟合方程式

方程式	R_Square	R_Sqrt	Adjusted R_Square	Spread of the Error	Root Mean Squared Error	回归方程	极值点
一次	0.86	0.93	0.85	4420	4114	$Y = 0.8483X + 4515$	/
二次	0.95	0.97	0.94	2825	2527	$Y = -0.00003091X^2 + 2.31X - 8341$	[37365, 34814]
三次	0.97	0.98	0.96	2294	1964	$Y = 0.000000001589X^3 + 0.00008289X^2 - 0.05409X + 4966$	[329, 4956] [34438, 36491]

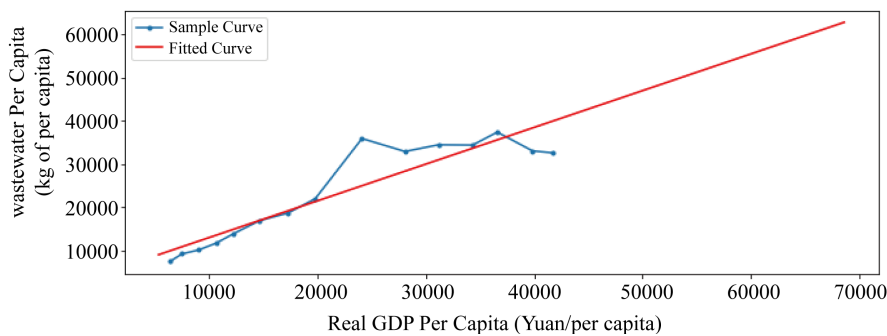


Figure 7. Fitting diagram of linear model of industrial waste gas emissions per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 7. 江西省人均工业废气排放量与人均 GDP 线性模型拟合图

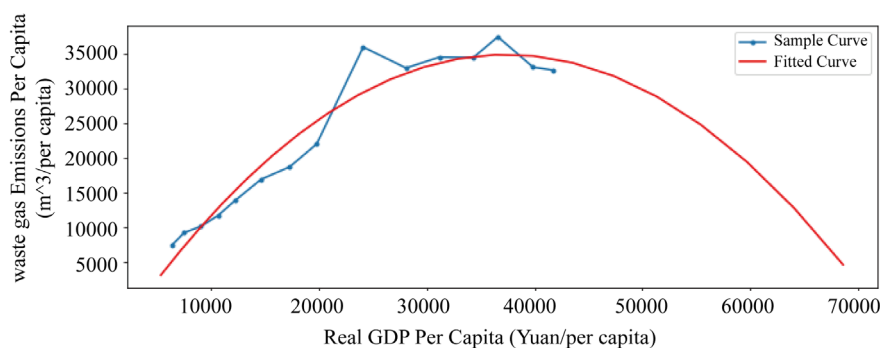


Figure 8. Fitting graph of conic curve model of industrial waste gas emissions per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 8. 江西省人均工业废气排放量与人均 GDP 二次曲线模型拟合图

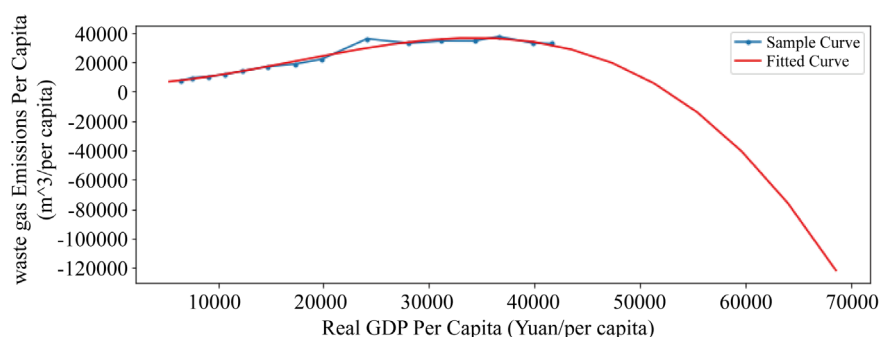


Figure 9. Fitting graph of cubic curve model of industrial waste gas emissions per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 9. 江西省人均工业废气排放量与人均 GDP 三次曲线模型拟合图

3.2.4. 工业固体废物产生量

由表 7 可以看出，以下三种拟合方程中，二次曲线模型与三次曲线模型的拟合度优于线性方程，结合拟合结果倒“U”型图形来看，最终将二次曲线方程设定为人均 GDP 与人均工业固体废物产生量的回归方程，方程表达式如下： $Y = 0.000000883X^2 + 0.07566X + 997.5$ 。

Table 7. Fitting equation of industrial solid waste production per capita

表 7. 人均工业固体废物产生量拟合方程式

方程式	R_Square	R_Sqrt	Adjusted R_Square	Spread of the Error	Root Mean Squared Error	回归方程	极值点
一次	0.89	0.94	0.88	150	140	$Y = 0.0339X + 1365$	/
二次	0.94	0.97	0.93	117	105	$Y = 0.000000883X^2 + 0.07566X + 997.5$	[42839, 2618]
三次	0.94	0.97	0.92	121	103	$Y = 0.00000000001687X^3 - 0.000002091X^2 + 0.1007X + 856.3$	/

经图 10、图 11 和图 12 对比可以看出，江西省人均 GDP 与人均工业固体废物之间均呈现环境库兹涅茨曲线关系，显示于倒“U”型曲线。由此可以看出随着人均 GDP 的增长，工业固体废物产生量经历了迅速上升随后下降的过程。根据二次曲线模型拟合得出的极值点可知，当江西省人均 GDP 达到 42839 元/每人时，人均工业固体废物产生量达到 2618 千克/每人的最大值，时间大概对应的是 2016~2017 年之间。

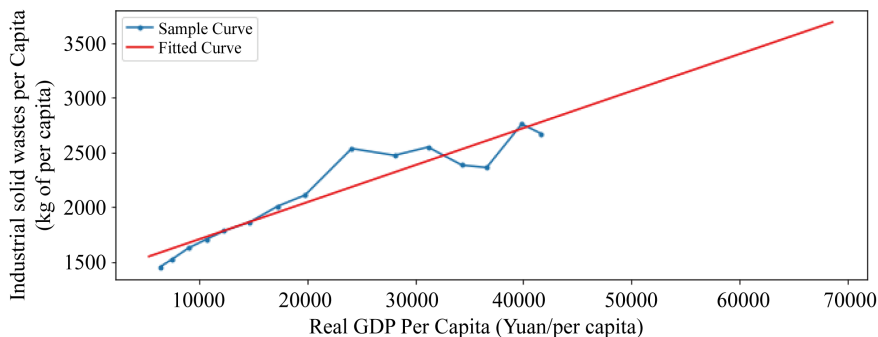


Figure 10. Fitting graph of linear model of industrial solid waste per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 10. 江西省人均工业固体废物产生量与人均 GDP 线性模型拟合图

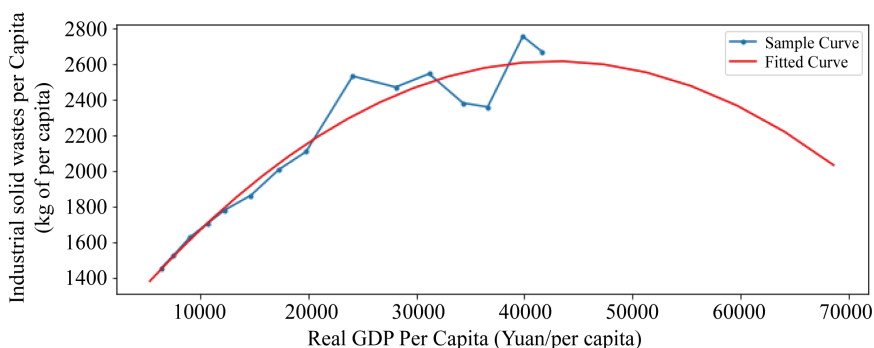


Figure 11. Fitting graph of quadratic curve model of industrial solid waste production per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 11. 江西省人均工业固体废物产生量与人均 GDP 二次曲线模型拟合图

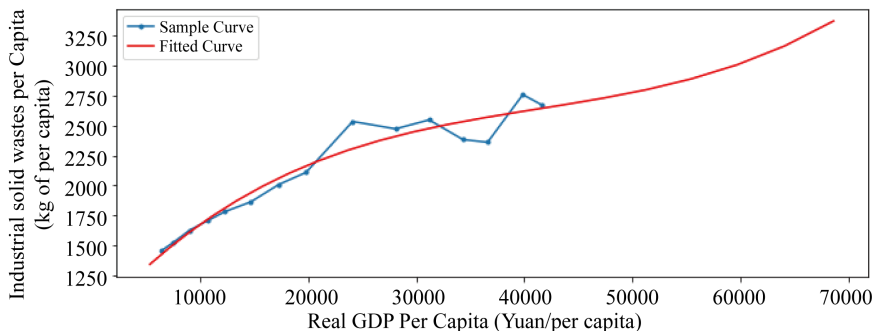


Figure 12. Fitting graph of cubic solid curve model of industrial solid waste per capita and GDP per capita in Jiangxi province

图 12. 江西省人均工业固体废物产生量与人均 GDP 三次曲线模型拟合图

4. 结论及建议

江西省 2003 至 2017 年人均废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业固体废物排放量三种指标与人均 GDP 之间有相关关系且均符合环境库兹涅茨曲线。三种类型的污染物排放量与人均 GDP 之间呈现倒“U”型曲线关系，表明安徽省环境污染问题正在得到改善。这与江西省公民环保意识的加强、政府部门的重视是密不可分的，针对江西省目前的环境问题提出以下建议：

第一，加强公民的环保意识。提高公民对环境保护的认识水平和自觉程度，法律、法规与媒体宣传是公民提高环境意识的有力保障，政府应建立和完善相关的法律法规，并充分利用公共媒体加强宣传，增强公民的环保意识。

第二，调整优化产业与能源结构。重工业是江西省环境污染的最大来源，政府需要优化产业结构与能源结构，以改善环境污染。在产业结构方面，有关部门应当支持节能环保的新兴产业发展，淘汰重污染企业，对高耗能、高排放的项目严格把关。此外，优化产业结构不能仅限于淘汰重污染企业，强制性的限产停产，更重要的是发展高新技术，改造传统产业，倒逼传统企业转型升级。在能源结构方面，加快水电、核电、风电等新型能源替代传统能源的步伐，产业结构与能源结构优化双管齐下使环境质量改善。

第三，调整优化工业布局。目前江西省各市常见的环境问题是工业用地与生活用地缺乏合理划分。例如，南昌市经开区麦园垃圾处理场常在夜间焚烧垃圾，气味刺鼻呛人，严重影响周边住户的正常生活。江西其他城市也存在类似问题，可见调整优化工业布局的重要性。相关部门应在工业用地及生活用地之间加设环保隔离带，逐步有序地推进重污染企业的搬迁改造，进而优化工业布局。

第四，推广 PPP 模式治污。PPP (Public-Private-Partnership)是政府与民间资本对某一具体项目签订相关协议，并相互合作、共担风险、共负责任、共享收益的模式。PPP 模式利用民间资本，能够有效地改善政府资金不足的问题，江西省财政收入较低，用于环境保护及环境治理的专项资金匮乏，采用 PPP 模式使社会资本介入，能够填补环境保护及环境治理的资金缺口[11]。此外，社会资本与政府效能的互补还可以优化制度安排，提高治理效果，实现城市环境与经济、社会的协调发展。

基金项目

本论文得到了厦门国家会计学院 2019 年“云顶课题：YD20190101Python 财务数据分析”项目的支持。

参考文献

- [1] 颜蕾, 洪德胜, 郑淑真. 重庆市环境库兹涅茨曲线实证分析[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2014(12): 36-41.
- [2] 张冬咏, 唐恬. 郑州市工业“三废”污染的环境库兹涅茨曲线特征分析[J]. 河南科学, 2018, 36(10): 1651-1657.
- [3] 李水平, 张丹. 湖南省城镇化与环境污染的库兹涅茨曲线[J]. 系统工程, 2014(1): 152-158.
- [4] 周雪晴. 西南地区农业面源污染与经济增长关系研究——基于环境库兹涅茨曲线的分析[J]. 新疆农垦经济, 2015(7): 13-20.
- [5] 郭嘉铭, 金良, 董锁成. 呼和浩特市环境库兹涅茨曲线与环境影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 143-148.
- [6] 杨丽霞. 浙江省经济增长与环境质量演进关系的实证研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 12(1): 78-80+93.
- [7] Aydoğan, B. and Vardar, G. (2020) Evaluating the Role of Renewable Energy, Economic Growth and Agriculture on CO₂ Emission in E7 Countries. *International Journal of Sustainable Energy*, **39**, 335-348. <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1686380>
- [8] Chen, X., Shuai, C.Y., Wu, Y. and Zhang, Y. (2020) Analysis on the Carbon Emission Peaks of China's Industrial, Building, Transport, and Agricultural Sectors. *The Science of the Total Environment*, **709**, Article ID: 135768. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135768>
- [9] 沈琼, 邓文刚. 河南省经济发展与水污染的 EKC 分析[J]. 河南牧业经济学院学报, 2020(1): 22-29.
- [10] 王懿. 安徽省环境库兹涅茨曲线现状分析[J]. 蚌埠学院学报, 2020, 9(1), 47-52.
- [11] 贺伟, 王鹏. 资源型城市经济发展与环境污染关系研究——以衡阳市为例[J]. 国土与自然资源研究, 2019(6): 20-22.
- [12] 李晓婷, 汪冀. 基于 PPP 模式的污水处理工程投融资研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2012(1): 41-44.

附录

Year	GDP Per	GDP Per	Waste Gas Per	Waste Gas Per	Industrial solid Wastes Per	Industrial solid Wastes Per	Waste Water Per	Waste Water Per
2003	6431.8831	5376.0506	7527.0334	3183.3966	1453.1782	1340.1173	27912.3178	24439.5028
2004	7544.2136	7157.3094	9271.7087	6607.8762	1522.9365	1476.4614	28032.6797	26536.4492
2005	9056.8021	9083.7717	10155.4164	10090.7322	1625.3097	1611.5906	28605.8919	28684.942
2006	10689.8839	11155.4375	11744.6416	13580.0871	1703.7658	1743.4155	30002.9961	30856.9273
2007	12323.9529	13372.3067	13972.0696	17020.1536	1780.5128	1869.993	32341.2752	33022.2367
2008	14698.0526	15734.3794	16945.4545	20351.2339	1861.4432	1989.5935	31570.2273	35148.5872
2009	17308.9534	18241.6556	18695.8484	23509.7205	2007.7121	2100.7712	33186.0424	37201.5815
2010	19817.9729	20894.1353	21990.139	26428.0953	2108.3147	2202.4403	36006.4993	39144.7077
2011	24127.3721	23691.8184	35877.8966	29034.9304	2533.9639	2293.9544	43322.5379	40939.3392
2012	28093.7172	26634.7049	32890.7638	31254.8874	2471.9361	2375.1923	44669.1186	42544.7352
2013	31192.7751	29722.795	34438.3016	33008.7181	2547.1451	2446.6471	45806.6254	43918.0402
2014	34326.8865	32956.0885	34374.7248	34213.2639	2382.4769	2509.5202	45858.4412	45014.2841
2015	36603.8124	36334.5855	37349.9781	34781.4561	2360.2015	2565.8207	48890.1183	45786.3827
2016	39857.6855	39858.2859	33018.2927	34622.3159	2758.1294	2618.4683	48147.1864	46185.1368
2017	41666.551	43527.1898	32594.1151	33640.9544	2670.0389	2671.4018	40969.7793	46159.2329
2018	2018	47341.2972	2018	31738.5724	2018	2729.6919	2018	45655.2432
2019	2019	51300.608	2019	28812.4605	2019	2799.6583	2019	44617.625
2020	2020	55405.1223	2020	24755.9995	2020	2888.9922	2020	42988.7213
2021	2021	59654.8401	2021	19458.6596	2021	3006.8826	2021	40708.7607
2022	2022	64049.7614	2022	12806.0011	2022	3164.1482	2022	37715.857
2023	2023	68589.8861	2023	4679.6742	2023	3373.3727	2023	33946.0097