

# An Empirical Study on the Relationship between Economic Growth and Environmental Pollution in Jiangxi Province

Yaxin Zeng, Teng Wu, Shuang Li, An Hu, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian  
Email: zengyaxin2019@163.com, jxufewuteng@126.com, 2931754868@qq.com, 15216739816@163.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

Received: May 12<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2020; published: Jun. 4<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Kuznets curve (EKC) was put forward by Kuznets in 1955. According to this theory, “with the economic growth, income inequality first intensifies and then improves”; then, through empirical research, economists Grossman and Kruger further draw the Environmental Kuznets curve, that is, “with the economic growth, the environmental damage degree first intensifies and then improves”. Environmental Kuznets curve can help to analyze the stage of economic development of a country or region, and then make adjustment strategies. Jiangxi Province is located in the southeast of China and the South Bank of the middle and lower reaches of the Yangtze River. It belongs to East China, with superior geographical location and convenient transportation. However, its economic development level is in the middle and lower reaches of the country, not developed. Therefore, with the help of Python’s data analysis function, this paper will analyze whether the economic development and environmental pollution level of Jiangxi Province conform to the Environmental Kuznets curve, predict the future economic development level of Jiangxi Province and put forward some reference suggestions.

## Keywords

Kuznets Curve, Chebyshev Polynomial, Jiangxi, Industrial “Three Wastes”, Python

---

## 江西省经济增长和环境污染关系的实证研究

曾雅欣, 吴 腾, 李 爽, 胡 安, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门

Email: zengyaxin2019@163.com, jxufewuteng@126.com, 2931754868@qq.com, 15216739816@163.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

收稿日期: 2020年5月12日; 录用日期: 2020年5月28日; 发布日期: 2020年6月4日

## 摘要

库兹涅茨曲线(EKC)库兹涅茨在1955年提出, 该理论认为“随着经济增长, 收入不平等呈先加剧后改善的态势”; 随后, 经济学家格罗斯曼与克鲁格通过实证研究, 进一步得出环境库兹涅茨曲线, 即“随着经济增长, 环境破坏程度也呈先加剧后改善的态势”。环境库兹涅茨曲线可以帮助分析一个国家或者地区经济发展所处的阶段, 进而做出调整策略。江西位于中国东南部, 长江中下游南岸, 属于华东地区, 地理位置优越, 交通便利。但是, 其经济发展水平却在全国处于中下游位置, 并不算发达。因此, 本文将借助Python的数据分析功能, 分析江西省的经济发展与环境污染程度是否符合环境库兹涅茨曲线, 并预测江西省未来的经济发展水平和提出若干参考建议。

## 关键词

库兹涅茨曲线, 切比雪夫多项式, 江西, 工业“三废”, Python

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. 序言

### 1.1. 研究背景与目的

库兹涅茨曲线的“随着经济增长, 收入不平等呈先加剧后改善的态势”首先由1971年诺贝尔经济学奖得主库兹涅茨在1955年提出。而后, 普林斯顿大学经济学家格罗斯曼与克鲁格在1991年首次对环境质量与人均收入的关系进行实证研究, 结果表明: 随着经济增长, 环境破坏程度也呈先加剧后改善的态势。于是, 学者们将此称为环境库兹涅茨曲线(EKC)。随着研究的不断深入, 库兹涅茨曲线的应用越来越广泛。

改革开放以来, 中国的经济高速发展, 取得的成就令人瞩目。但是不可否认的是, 发展的同时, 环境被破坏得愈加严重。资源的过度开采、工业废物毒物的肆意排放等, 对我国的生态环境造成巨大破坏, 对人们的身体健康造成重大威胁。显然, 这种粗放式的发展模式短期内可以推动经济快速发展, 但是长期来看, 必将反作用于经济, 带来不可预计的损失。中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在全国生态环境保护大会上提出要“加大力度推进生态文明建设、解决生态环境问题, 坚决打好污染防治攻坚战, 推动我国生态文明建设迈上新台阶”。因此, 保护环境、调整产业结构刻不容缓。

江西省位于中国东南部, 长江中下游南岸, 属于华东地区。东邻浙江、福建、南连广东; 西靠湖南; 北毗湖北、安徽而共接长江<sup>1</sup>。地理位置优越且交通便利。但是江西的经济总体来说处于全国中下游位置, 并不发达。截至2019年年底, 其产业结构以第二产业工业以及第三产业服务业为主, 其中工业占比

<sup>1</sup>江西(中华人民共和国省级行政区)\_百度百科, <https://baike.baidu.com/item/%E6%B1%9F%E8%A5%BF/215383?fr=aladdin>。

44.19%。一般来说,工业比重占比越高,对环境的污染程度可能越高。“既要金山银山,更要绿水青山”,发展的同时,环境保护不容忽视。江西经济虽然不是特别发达,但是其对中国经济的重要性却在不断提高。2019年,江西省生产总值24,757.5亿元,比2018年增长8.0%,高于全国平均水平1.9个百分点,居全国第4、中部第一。而且,处在长三角和珠三角附近,地理位置上的优势会对其未来发展带来绝对优势。因此,关注江西省经济发展与环境污染之间的关系具有重大意义。

结合以上背景分析,本文研究目的主要为两个方面:一是借助Python分析江西省经济发展与环境污染的关系是否满足库兹涅茨曲线;二是根据研究结果,提炼出促进江西省经济可持续发展的可行性建议。

## 1.2. 国内研究现状

国内学者对库兹涅茨曲线的研究方向主要集中在环境库兹涅茨曲线的实证研究,学者们试图通过研究我国经济增长与环境污染之间的关系,寻求两者发展的平衡点。

沈满洪、许云华[1]对浙江省近20年来人均GDP与工业“三废”及其人均量之间相互关系的分析,发现了一种新型的环境库兹涅茨曲线,即一条先是倒“U”型、然后是“U”型的波浪式的环境库兹涅茨曲线,得出浙江省高速发展时期的环境变迁不同于发达国家工业化时期的结论。包群、彭水军[2]基于1996~2000年中国30个省(市、自治区)6类环境指标的面板数据,通过构建方程组得出中国存在环境库兹涅茨倒U型曲线;并且认为治理污染、改善环境质量的关键途径是加速经济增长的观点具有误导性。在处理环境恶化、污染排放这类具有负外部效应的问题时,环保经费的投入、治污技术的创新、贸易开放所带来的收益与产业结构的优化都是降低污染排放、减缓环境压力的重要途径。许广月、宋德勇[3]选用1990~2007年中国省域面板数据,运用面板单位根和协整检验方法,研究了我国碳排放环境库兹涅茨曲线的存在性。研究表明:中国及其东部地区和中部地区存在人均碳排放环境库兹涅茨曲线,但是西部地区不存在该曲线。刘海英、安小甜[4]研究表明,从全国范围看,无论基于哪一类工业污染物排放,均存在倒“U”型的EKC;增加环境税可以在一定程度上抑制工业废水排放,却不能减少工业废气和固体废弃物的排放。

此外,在对指标进一步优化之后,库兹涅茨曲线应用更加具有参考价值。

曲福田、吴丽梅[5]通过对天津市、山东省、江苏省、上海市、广东省、福建省6个典型地区经济发展过程中耕地损失的分析,证明我国经济增长与耕地数量之间存在类似库兹涅茨曲线型关系,并提出现阶段协调经济增长与耕地保护的公共政策调整方向。林伯强、蒋竺均[6]研究发现,简单的二氧化碳库兹涅茨模型模拟的理论曲线无法预测描述将来中国的二氧化碳排放状况,人均二氧化碳排放还受能源消费强度和能源结构碳强度的影响,工业能源强度和煤炭消费比例是两者变动的决定性因素。

樊胜岳、麻亮亮[7]选取我国1987~2013年土地利用、温室气体排放和用水量数据,运用投入产出法计算足迹家族中的土地足迹、碳足迹和水足迹,进行环境库兹涅茨曲线分析,得出指标的选取会影响环境库兹涅茨曲线形态的结论。

孙攀、吴玉鸣[8]等研究发现,从中国(整体)层面来看,雾霾污染EKC曲线存在;从区域层面来看,在东部地区,雾霾污染EKC曲线存在,而在中西部地区也存在雾霾污染EKC曲线但不显著。原因在于,雾霾污染EKC曲线的显著性与区域经济发展水平有关。区域经济发展水平离雾霾污染EKC曲线拐点越近,该区域雾霾污染EKC曲线越显著;反之,则越不显著。

张红凤、姜琪、吕杰[9]研究发现经济增长水平、食品工业产值与食品安全风险度之间存在着“倒U型”曲线关系,在“倒U型”曲线拐点到来之前,随着经济增长水平的提高、食品工业规模的扩大,食品安全风险度是上升的;而当突破拐点之后,食品安全风险度是不断下降的。邹秀清[10]研究发现,我国现阶段土地财政指标与经济增长之间存在着单调递增的关系,不存在土地财政库兹涅茨曲线。

揭昌亮、王金龙、庞一楠[11]本文基于 1988~2016 年省级面板数据,对中国农业增长与化肥面源污染的 EKC 关系进行检验;结果表明:中国化肥面源污染与农业增长之间存在显著的“倒 U 型”的 EKC 关系。

综上所述,库兹涅茨曲线的研究广泛,涉及环境与经济研究、碳排放研究、耕地面积研究、温室气体研究、雾霾污染等方面。应用方式也呈多元,既有模拟预测未来数量,也有对两种指标的相关关系的证明。其中,以环境库兹涅茨曲线应用最为广泛,因此本文将在前人研究的基础之上,运用 Python 拟合江西省经济增长与环境污染之间的关系,判断其是否存在环境库兹涅茨曲线,并据此给出相关建议。

## 2. 切比雪夫多项式模型

本文采用切比雪夫多项式模型进行数据的预测,采用环境库兹涅茨模型分析环境与经济的关系。

### 2.1. 切比雪夫多项式概述

切比雪夫多项式是以俄国著名数学家切比雪夫(Tschebyscheff, 1821~1894)的名字命名的重要的特殊函数。起源于多倍角的余弦函数和正弦函数的展开式,是与棣美弗定理有关、以递归方式定义的多项式序列,是计算数学中的一类特殊函数,对于注入连续函数逼近问题,阻抗变换问题等等的数学、物理学、技术科学中的近似计算有着非常重要的作用。

切比雪夫多项式是源于多倍角的余弦函数和正弦函数的展开式,因此,切比雪夫的定义域与值域均为 $[-1,1]$ 。它被分为第一类切比雪夫多项式 $T_n$ 和第二类切比雪夫多项式。第一类切比雪夫多项式的拟合精度高于一般多项式 1,故本文提到的切比雪夫多项式均指第一类切比雪夫多项式 $T_n$ 。

切比雪夫多项式的定义表达式为:

$$T_n(x) = \cos(n \cdot \arccos(x)), n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

也可以由以下递推关系给出:

$$\begin{aligned} T_0(x) &= 1 \\ T_1(x) &= x \\ T_2(x) &= 2 \cdot x^2 - 1 \\ T_3(x) &= 4 \cdot x^3 - 3 \cdot x \\ T_4(x) &= 8 \cdot x^4 - 8 \cdot x^2 + 1 \\ &\dots \\ T_{n+1}(x) &= 2 \cdot x \cdot T_n(x) - T_{n-1}(x), n \geq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.2. 切比雪夫多项式模型的算法

由于切比雪夫多项式的定义域为 $[-1,1]$ ,首先,需要将实际的自变量定义域转换为切比雪夫多项式的定义域。

假设转换前的自变量 $t$ 的定义域为 $[a,b]$ , $t$ 与 $x$ 的关系如图 1, $x$ 关于 $t$ 的表达式如下:

$$\frac{t-a}{b-a} = \frac{x-(-1)}{1-(-1)} \quad (3)$$

其中:

$t$ ——实际的自变量;

$a$ ——实际自变量的定义域最小值;

$b$ ——实际自变量的定义域最大值；

$x$ ——切比雪夫多项式的自变量；

定义域变换原理如图 1 所示：

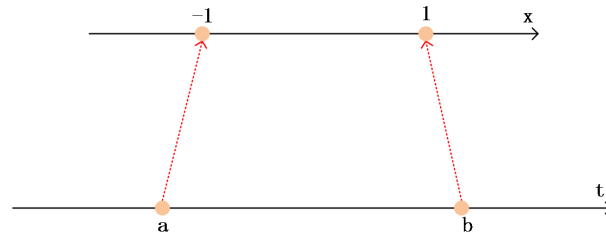


Figure 1. Schematic representation of time series transformed into Chebyshev polynomial domain

图 1. 时间序列转化为切比雪夫多项式定义域示意图

切比雪夫多项式的目标函数  $F(x)$  与  $x$  的函数关系式为：

$$F(x) = \alpha_0 \cdot T_0(x) + \alpha_1 \cdot T_1(x) + \alpha_2 \cdot T_2(x) + \cdots + \alpha_n \cdot T_n(x) \quad (4)$$

其中，

$n$ ——为切比雪夫多项式的最高次幂；

$\alpha$ ——为切比雪夫多项式的系数；

$T_n(x)$  的  $n$  为目标函数的最高次方，可根据实际情况选择，所以只有  $\alpha$  为未知的参数。将大量的过去的代入公式(3)、公式(4)，可求出未知参数  $\alpha$ ，得到目标函数值，通过公式(3)输入  $t$  值进行预测。(本文求解未知参数的方法是运用 Python 的 Chebyshev 与 SciPy 模块的子模块 Optimize 中提供的拟合函数 Curve fit 求解。)

### 3. 环境库兹涅茨曲线(EKC)

#### 3.1. 环境库兹涅茨曲线概述

国际上根据环境库兹涅茨理论所产生的计量模型有两大类，一类是基于时间序列数据分析的模型，另一类是基于面板数据分析的模型。在 1992 年被提出的基于面板数据分析的模型，与前一种模型最主要的区别是：将二次、三次函数与对数形式相结合，并加入 GDP 以外的环境影响因素。由于本文的研究目的为：分析江西省经济发展与环境污染的关系是否满足库兹涅茨曲线，并不考虑除 GDP 以外的环境影响因素。因此，下文所提 EKC 特指基于时间序列数据分析 EKC 模型。

#### 3.2. EKC 模型的算法

基于时间序列数据分析的环境库兹涅茨模型，一般表达式为：

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \mu_t \quad (5)$$

在公式(5)中：

$E_t$ ——为某国家或地区在时刻  $t$  受到的环境压力，常用环境质量指标、污染物排放量等表示；

$\beta_0$ ——是国家和地区特征相关参数；

$Y_t$ ——是该国家或地区在  $t$  时刻的经济产出，一般以 GDP 或人均 GDP 表示；

一次项系数  $\beta_1$  与二次项系数  $\beta_2$  均为参数，这两个参数与 0 进行比较可以判断得出的曲线是否为“倒 U”。由数学知识可知，一阶导数等于 0，且二阶导数小于 0，则可判断该函数有极大值，为“倒 U”型

曲线。

公式(5)的一阶导函数为:

$$\frac{dE_t}{dY_t} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot Y_t \quad (6)$$

公式(5)的二阶导函数为:

$$\frac{d^2 E_t}{dY_t^2} = 2 \cdot \beta_2 \quad (7)$$

令公式(6)等于 0, 公式(5)小于 0, 可以得到:

$$Y_t = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} \quad (8)$$

$$\beta_2 < 0 \quad (9)$$

只有同时满足公式(8)与公式(9), 才可得到公式(5)的极大值点。

又因为  $Y_t$  必然大于 0, 当公式(6)等于 0 时:

$$\frac{dE_t}{dY_t} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot Y_t = 0 \quad (10)$$

联立公式(8)、公式(9)、公式(10), 可得出:  $\beta_1 > 0$ 。

因此, 当  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  时, EKC 曲线为“倒 U 型”, 且在  $Y_t = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$  处取得环境质量转折点。

本文求解未知参数的方法是运用 Python 的 Polynomial 求解。

## 4. 江西省工业“三废”现状分析

### 4.1. 江西省经济发展现状分析

本文选取 1998 年~2018 年江西省经济发展的 2 个指标来反映近 20 年来江西省经济发展状况, 从而进行现状描述性分析, 判断江西省经济发展的未来趋势。本文经过比较分析, 认为江西省人均实际 GDP 比较能代表江西省经济发展情况, 并最后采用其作为拟合函数的自变量。其中数据来源于《江西省统计年鉴》, 历年江西省经济增长情况如图 2 所示:

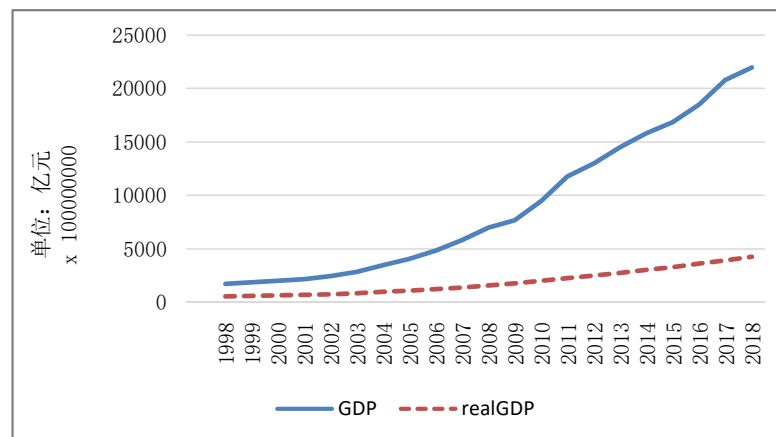


Figure 2. Economic growth in Jiangxi Province in recent 20 years

图 2. 江西省近 20 年经济增长状况

可以发现近 20 年来,江西省经济情况逐步提升,GDP 与人均 GDP 稳步增长,截至 2018 年,江西省 GDP 已经从 1998 年 1851.98 亿元增加到 21,984.78 亿元,年均增速约为 13.59%;人均实际 GDP 从 1998 年 1287.13 元增长到 9209.86 元,年均增速约为 10.34%,两者平均增速均超过全国平均水平<sup>2</sup>。可以预见,未来一定时间内,江西省的经济增长仍然能够保持一定的增长势头。

## 4.2. 江西省工业“三废”排放现状描述性分析

从资料的可获得性与本文研究目的综合考虑,本文采用工业“三废”来反应环境污染程度。其中工业“三废”是指工业生产过程中排出的废气、废水、废渣的简称。

本文选取 1998~2018 年江西省工业“三废”排放量数据进行分析,分别从工业废水排放量、工业废气排放量和工业固体废物产生量来反映江西省工业“三废”排放情况,数据来源于江西省统计局《江西省统计年鉴》、中国国家统计局《中国统计年鉴》、江西省生态环境厅《江西省环境状况公报》。下面具体分析江西省近 20 年来各工业废物排放情况及趋势,具体情况见下图 3:

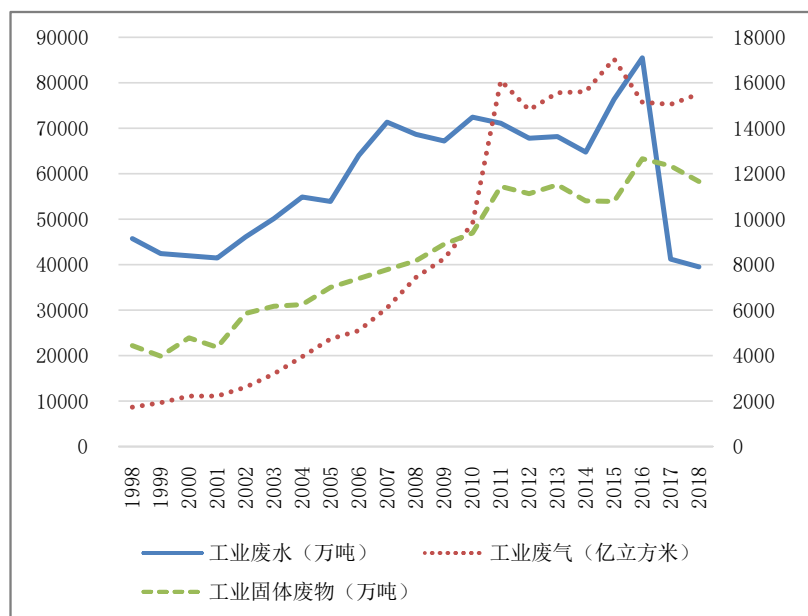


Figure 3. Emission of industrial “Three Wastes” in Jiangxi Province in recent 20 years

图 3. 江西省近 20 年工业“三废”排放情况

### 4.2.1. 工业废水排放量现状分析

由图 3 中工业废水排放总量的曲线可看出,从 1998~2016 年江西省工业废水排放情况总体是上升的,但在 2017 年出现了较大程度的下降(近 50%)。近 20 年来,废水排放量的最低水平为 2018 年的 39,557.67 万吨,最高水平为 2015 年的 76,412.31 万吨,两者变化幅度为 93.17%,说明在 2016 年开始,江西省对于工业废水排放的控制与治理见到了巨大成效,抑制了排放量的增长,但总体排放量仍然较大,依然有较大的减排空间。

### 4.2.2. 工业废气排放量现状分析

从图 3 中工业废气排放总量的曲线可以明显的看出近 20 年江西省工业废气排放逐年递增,尤其是

<sup>2</sup>中国近十年 GDP 数据及增长走势分析\_中国产业信息网, <http://www.chyxx.com/industry/201705/521730.html>。

2011 年增长量极其显著, 相比 2010 年增长了 64.12%, 虽 2012 年稍有回落, 但工业废气排放总量仍处于高水平, 并且近几年仍处于增长趋势。对比 1998 年废气排放量, 截至 2018 年, 废气排放总量已经增长了 8.90 倍, 显然工业废气问题比工业废水问题严重很多。因此, 工业废气排放情况应引起足够重视。

#### 4.2.3. 工业固体废物产生量现状分析

从图 3 中工业固体废物产生量的曲线可以看出, 在 1996 年至 2016 年期间, 江西省固体废物产生量呈上升趋势, 2017 年开始下降, 但是下降幅度较小。近 20 年间江西省工业固体废物产生量从 1998 年的 4447 万吨增长到 2018 年的 11,665 万吨, 增长了 2.62 倍, 虽然没有工业废气排放量增长严重, 但也达到了翻番增长的程度, 需要引起政府重视。

可以看出, 江西省是全国生态大省, 但从近 20 年工业“三废”排放的现状分析我们可以发现, 其工业“三废”排放增长情况不容忽视。由于经济增长压力, 江西省“三废”排放量在 20 年间至少成倍增长, 尤其是废气排放量增长迅速, 从日常生活中也有明显感知。虽然近两年“三废”排放量增长情况有所减缓, 但总体排放量仍然处于高水平, 对于生态环境有相当大的压力。

## 5. 数据来源与处理

### 5.1. 自变量的确定

#### 5.1.1. 获得 1998 年至 2018 年的样本数据

通过公式(11)、公式(12)、公式(13)可以求得江西省人均实际 GDP:

$$A_t = B_{1978} \cdot D_t \quad (11)$$

$$D_t = C_{1978} \cdot C_{1979} \cdot C_{1980} \cdots C_t \quad (12)$$

$$Y_t = \frac{A_t}{P_t} \quad (13)$$

其中:

$A_t$ ——第  $t$  年的江西省实际 GDP;

$B_{1978}$ ——第 1978 年的江西省名义 GDP, 由于本文采用的指数均以 1978 年的名义 GDP 为基数计算, 因此 1978 年的名义 GDP 也是这一年的实际 GDP;

$C_t$ ——第  $t$  年江西省的国内生产总值指数(环比指数), 基年为 1978 年;

$D_t$ ——第  $t$  年江西省的国内生产总值指数(定基比指数), 基年为 1978 年;

$P_t$ ——第  $t$  年江西省的总人口数;

$Y_t$ ——第  $t$  年江西省的人均实际 GDP。

上述参数中, 名义 GDP 与基年为 1978 年的国内生产总值环比指数均从江西省统计局获得。

#### 5.1.2. 获得 2019 年至 2030 年的预测数据

阎虎勤[12]关于切比雪夫多项式拟合效果的研究表明, 通过使用切比雪夫多项式对人均实际 GDP 进行未来预测, 拟合效果相比一般多项式、幂函数等其他函数具有较大优势。因此本文经过分析对比, 决定采用切比雪夫多项式模型对 2019 年至 2030 年的江西省人均实际 GDP 进行预测。

切比雪夫多项式的自变量  $x$  与实际自变量  $t$  关系的具体表达式如下:

$$\frac{t-1998}{2030-1998} = \frac{x-(-1)}{1-(-1)}$$

切比雪夫多项式拟合函数为:



$$Y_t = 8749.3166 \cdot T_0(x) + 9608.2303 \cdot T_1(x) + 2121.387 \cdot T_2(x)$$

转化为一般多项式的表达式为:

$$Y_t = 6627.9295 + 9608.2303 \cdot x + 4242.7741 \cdot x^2$$

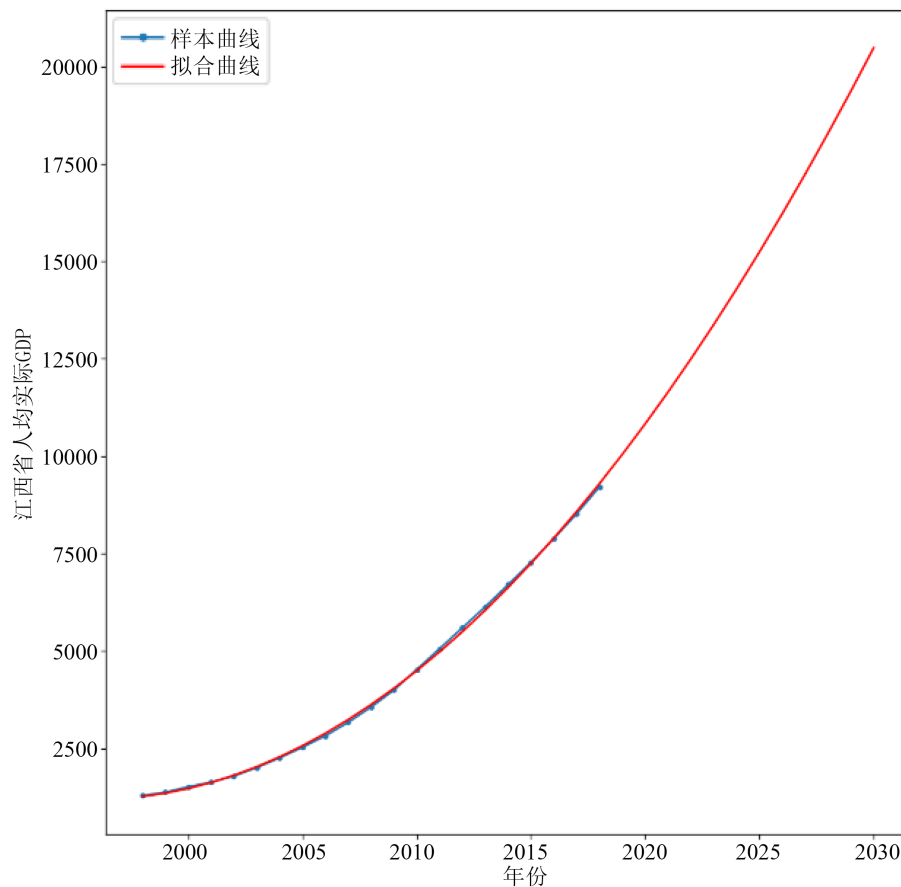
利用 Python 对拟合函数进行拟合优度检验, 结果表 1 所示:

**Table 1.** Goodness test of fitting function of per capita real GDP in Jiangxi Province

**表 1.** 江西省人均实际 GDP 拟合函数优度检测

指标名称	可决系数 $R^2$	$R$	调整后 $R^2$	残差标准差	均方根误差
人均实际 GDP	0.9994	0.9997	0.9994	60.2378	55.7694

从表 1 中可以得到, 江西省人均实际 GDP 的样本曲线与拟合曲线的调整后的可决系数为 0.9994, 非常接近 1, 拟合程度非常高。这说明用切比雪夫多项式对人均实际 GDP 的预测比较可靠, 使用预测值进行环境库兹涅茨模型的数据分析是可行的。



**Figure 4.** Real per capita GDP forecast curve of Jiangxi province

**图 4.** 江西省人均实际 GDP 预测曲线

从图 4 中可以发现, 江西省人均实际 GDP 的预测增长曲线符合前文所分析的江西省人均 GDP 增长趋势, 可以判断出切比雪夫多项式对江西省人均实际 GDP 的预测是符合逻辑的。

### 5.2. 因变量的确定

如前文所述, 本文将江西省人均废水排放量( $E_{t1}$ )、人均废气排放量( $E_{t2}$ )与人均固体废物排放量( $E_{t3}$ )为因变量指标。与自变量( $Y_t$ )相对应, 采用 1998~2018 年为样本数据进行预测, 预测期为 2019 年至 2030 年。

## 6. 江西省经济增长指标和环境污染方程拟合结果分析

### 6.1. 拟合结果

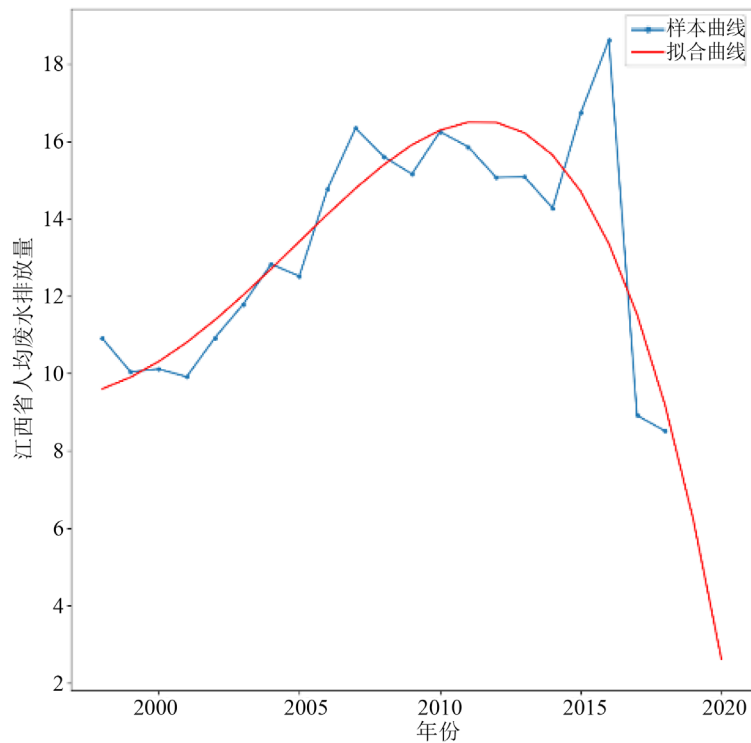
利用 Python 中的 Polynomial 根据样本数据求解自变量( $Y_t$ )与因变量( $E_t$ )的表达式, 得出工业“三废”的 EKC 模型表达式如表 2 所示:

**Table 2.** Expression of fitting equation for industrial “Three Wastes”

**表 2.** 工业“三废”拟合方程表达式

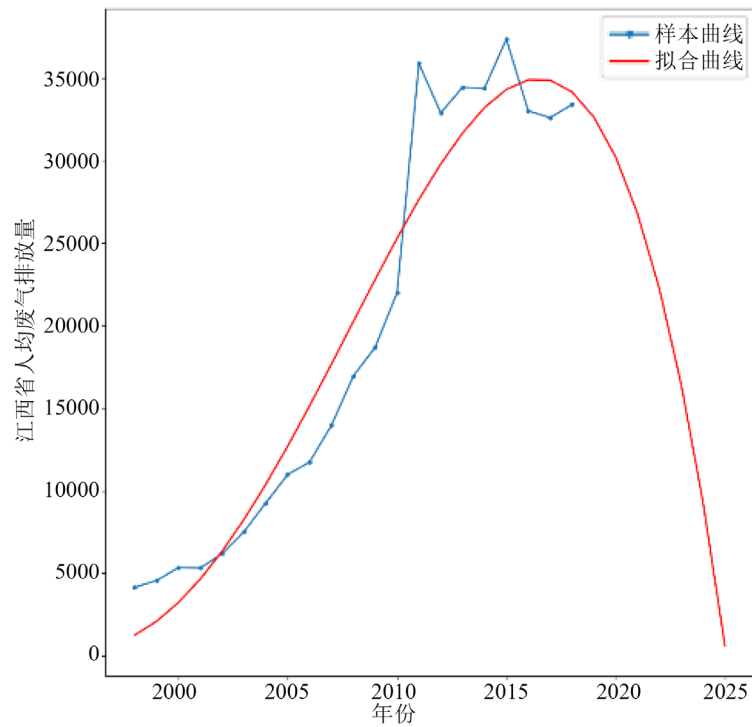
指标	函数表达式
人均废水排放量	$E_{t1} = -4.424 \times 10^{-7} \cdot Y_t^2 + 0.004618 \cdot Y_t + 4.478$
人均废气排放量	$E_{t2} = -0.0006965 \cdot Y_t^2 + 11.45 \cdot Y_t + 1.208 \times 10^4$
人均固体废物排放量	$E_{t3} = -3.663 \times 10^{-8} \cdot Y_t^2 + 0.0005748 \cdot Y_t + 0.3491$

从表 2 中可以很容易观察到, 拟合结果的函数表达式中的一次项系数大于 0、二次项系数小于 0。故三条曲线均是“倒 U”型曲线, 如图 5、图 6、图 7 所示。



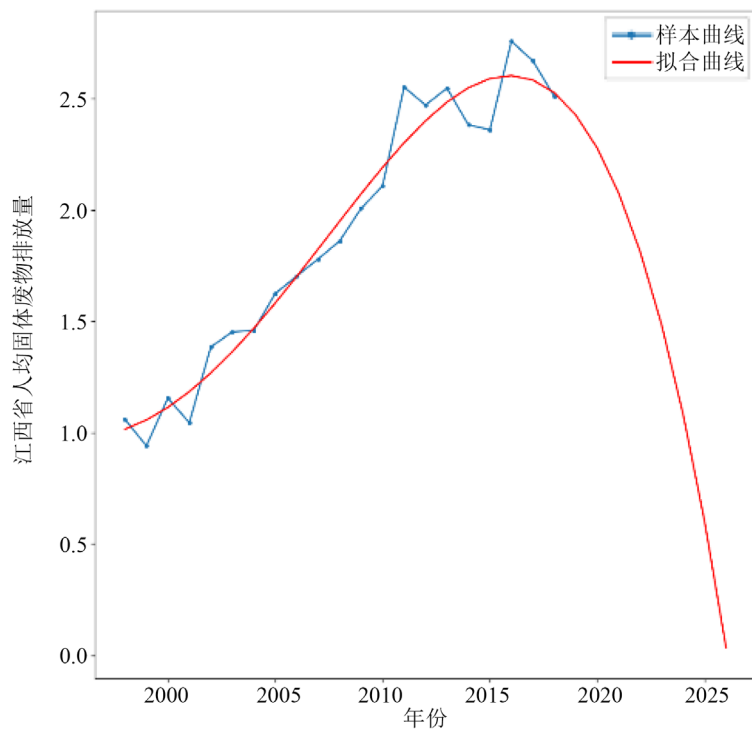
**Figure 5.** Equation fitting figure of Jiangxi province's per capita wastewater discharge and actual per capita GDP

**图 5.** 江西省人均废水排放量与实际人均 GDP 方程拟合图



**Figure 6.** Equation fitting figure of Jiangxi province's per capita emission and actual per capita GDP

**图 6.** 江西省人均废气排放量与实际人均 GDP 方程拟合图



**Figure 7.** Equation fitting of per capita solid waste emissions and actual per capita GDP in Jiangxi province

**图 7.** 江西省人均固体废物排放量与实际人均 GDP 方程拟合图

利用 Python 求环境质量转折点, 可结合公式(6)、公式(7)、公式(8), 与一阶导函数等于 0、二阶导函数小于 0 来求得环境质量转折点。结果如表 3 所示:

**Table 3.** Environmental quality turning point of industrial “Three Wastes” fitting equation  
**表 3.** 工业 “三废” 拟合方程环境质量转折点

	一阶导函数表达式	二阶导函数表达式	环境质量转折点坐标
人均废水排放量	$\frac{dE_{i1}}{dY_i} = -8.849 \times 10^{-7} \cdot Y_i + 0.004618$	$\frac{d^2E_{i1}}{dY_i^2} = -8.849 \times 10^{-7}$	(5218, 16)
人均废气排放量	$\frac{dE_{i2}}{dY_i} = -0.001393 \cdot Y_i + 11.45$	$\frac{d^2E_{i2}}{dY_i^2} = -0.001393$	(8218, 34966)
人均固体废物排放量	$\frac{dE_{i3}}{dY_i} = -7.326 \times 10^{-8} \cdot Y_i + 0.0005748$	$\frac{d^2E_{i3}}{dY_i^2} = -7.326 \times 10^{-8}$	(7845, 2)

当每人每年的实际 GDP 为 5218 元时, 人均废水排放量的环境转折点是每人每年排放 16 吨废水; 当每人每年的实际 GDP 为 8218 元时, 人均废气排放量的环境转折点是每人每年排放 34,966 立方米废气; 当每人每年的实际 GDP 为 7845 元时, 人均固体废物排放量的环境转折点是每人每年排放 2 吨固体废物。

同样, 利用 Python 对结果进行拟合优度检验, 内容如表 4 所示:

**Table 4.** Goodness of fit test for industrial “Three Wastes”  
**表 4.** 工业 “三废” 拟合优度检验

指标名称	可决系数 $R^2$	$R$	调整后 $R^2$	残差标准差	均方根误差
人均废水排放量	0.6918	0.8317	0.6575	1.7151	1.5878
人均废气排放量	0.9480	0.9736	0.9422	3050.6788	2824.3798
人均固体废物排放量	0.9634	0.9815	0.9592	0.1199	0.1110

调整后的  $R^2$  能对添加的非显著变量给出惩罚, 也就是说随意添加一个变量不一定能让模型拟合度上升, 因此我们参考调整后的可决系数  $R^2$  来评价拟合优度。人均废气排放量、人均固体废物排放量的调整后的可决系数  $R^2$  均大于 0.9, 可见, 拟合优度较高, 拟合曲线较为平滑。人均废水排放量调整后的可决系数  $R^2$  接近于 0.7, 拟合优度较好, 但足以进行较高级别的拟合分析。

残差标准差是对均值为 0 的随机误差项  $\mu_i$  的标准差的估计, 指估计值  $E_i$  的每个实际观察值  $E_{ii}$  的标准差。残差标准差越小, 拟合优度就越大。均方根误差亦称标准误差, 是观测值与估计值偏差的平方和观测次数  $n$  比值的平方根。其对一组测量中的特大或特小误差反应非常敏感。均方根误差与残差标准差的区别在于自由度不同, 但均可表现样本的离散程度。

从表 3 可以得出, 当人均废水排放量调整后的可决系数  $R^2$  为 0.6575, 残差标准差为 1.7151, 均方根误差为 1.5878, 均体现出, 人均废水的拟合程度较好。而人均废气排放量与人均固体废物排放量的拟合程度要远远优于人均废水排放量。因此, 我们可以认为, 工业 “三废” 的 EKC 模型拟合效果良好。

## 6.2. 拟合结果分析

由图 5、图 6、图 7 可以看出, 江西省人均废水排放量、人均废气排放量、人均固体废物排放量与实际人均 GDP 之间, 均呈现环境库兹涅茨曲线关系。随着人均实际 GDP 的增长, 人均三废排放量经历了迅速攀升随后下落的过程。不合理的负值取空后得到的预测值如表 5 所示:

**Table 5.** Industrial “Three Wastes” per capita emissions and Forecast Value of Per Capita Real GDP  
**表 5.** 人均工业“三废”排放量与人均实际 GDP 预测数值

年份	人均实际 GDP (元/人)	工业废水排放量 (吨/人)	工业废气排放量 (立方米/人)	工业固体废物排放量 (吨/人)
<b>2012</b>	<b>5493.19</b>	<b>16.49</b>	29,793.00	2.40
2013	6043.99	16.23	31,672.72	2.48
2014	6627.93	15.65	33,204.06	2.55
2015	7245.02	14.71	34,306.13	2.59
<b>2016</b>	<b>7895.25</b>	13.36	34,893.47	<b>2.60</b>
<b>2017</b>	<b>8578.63</b>	11.53	<b>34,876.00</b>	2.58
2018	9295.16	9.17	34,159.06	2.53
2019	10,044.83	6.22	32,643.41	2.43
2020	10,827.66	2.61	30,225.19	2.28
2021	11,643.62		26,795.99	2.08
2022	12,492.74		22,242.77	1.81
2023	13,375.00		16,447.92	1.48
2024	14,290.41		9289.23	1.08
2025	15,238.96		639.90	0.60
2026	16,220.66			0.03
2027	17,235.51			
2028	18,283.50			
2029	19,364.65			
2030	20,478.93			

结合前文江西省工业“三废”现状描述性分析，以及图 3、表 3 和表 5，我们可以得出江西省人均废水排放量转折点在 2012 年；人均废气排放量转折点 2017 年；人均固体废物排放量转折点 2016 年。也就是意味着在转折点以后，随着实际人均 GDP 的增加，江西省人均废水排放量、人均废气排放量、人均固体废物排放量在逐渐减少。这表明，自 2015 年以来江西省三废治理初见成效，并且有持续变好的趋势。

## 7. 结论及建议

江西省工业“三废”污染物排放量与实际人均 GDP 之间有相关关系，且均符合环境库兹涅茨曲线。其中人均废水排放量、人均废气排放量、人均固体废物排放量三种指标与人均 GDP 之间呈现倒“U”型曲线关系，表明江西省环境污染问题正在得到改善。通过实证研究，本文试图为江西省实现经济与环境统筹发展的政策制定提供理论依据，而且对我国其它地区与工业污染的相关研究提供一定的借鉴意义。江西省环境污染问题的改善与江西省环境发展协调政策的助力、民众的环保意识提高有很大的相关性。但是，虽然江西省在近几年工业污染治理投资额处于高水平，对比以前年份有飞跃式增长，可“三废”排放治理效果却不够理想，“三废”排放量水平仍然居高不下，对生态环境仍有很大压力。因此本文提出了以下建议：

1) 建立生态保护区，统筹协调经济与生态发展。

防治环境污染，保护和改善生活环境与生态环境，建设绿色生态江西，促进经济社会全面、协调、

可持续发展。政府统一行使生态环境监管者职责，重点强化生态环境制度制定、监测评估、监督执法和督察问责四大职能。赣江、抚河、信江、饶河、修河、东江源头和鄱阳湖设立生态功能保护区，保护和改善水生态环境<sup>3</sup>。发展经济的同时必须重视生态环境保护，使经济与生态协调发展，“既要金山银山，更要绿水青山”<sup>4</sup>。江西省生态环境治理应坚持从“省情”出发，坚持绿色发展、科学发展，立足自身实际不断完善相关法规条例。

2) 有效发挥税收杠杆调节作用，促进资源行业持续健康发展。

在增值税方面，对清洁生产的企业，在增值税上实行优惠政策，反之，对污染严重的企业则加重课税力度。在消费税方面根据对环境污染的影响程度不同实行不同的等级税率。在所得税方面，对环境友好型企业实现税收优惠，并且对治理环境污染的设备进行加速折旧，鼓励这类设备不断更新。扩大资源税征收范围，将地表水和地下水纳入征税范围，实行从量定额计征。在煤炭、原油、天然气等已实施从价计征改革基础上，对其他矿产资源全面实施改革。积极创造条件，逐步对水、森林、草场、滩涂等自然资源开征资源税<sup>5</sup>。运用财税手段解决环境问题，要循序渐进，先解决对环境保护最为急切的问题，再调整已有税制，增加开征新税种。

## 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] 沈满洪, 许云华. 一种新型的环境库兹涅茨曲线——浙江省工业化进程中经济增长与环境变迁的关系研究[J]. 浙江社会科学, 2000(4): 53.
- [2] 包群, 彭水军. 经济增长与环境污染: 基于面板数据的联立方程估计[J]. 世界经济, 2006, 29(11): 48-58.
- [3] 许广月, 宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J]. 中国工业经济, 2010(5): 37-47.
- [4] 刘海英, 安小甜. 环境税的工业污染减排效应——基于环境库兹涅茨曲线(EKC)检验的视角[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2018(3): 29-38.
- [5] 曲福田, 吴丽梅. 经济增长与耕地非农化的库兹涅茨曲线假说及验证[J]. 资源科学, 2004(5): 61-67.
- [6] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009(4): 33-42.
- [7] 樊胜岳, 麻亮亮. 中国大陆足迹家族的环境库兹涅茨曲线分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1452-1462.
- [8] 孙攀, 吴玉鸣, 鲍曙明, 仲颖佳. 经济增长与雾霾污染治理: 空间环境库兹涅茨曲线检验[J]. 南方经济, 1-16.
- [9] 张红凤, 姜琪, 吕杰. 经济增长与食品安全——食品安全库兹涅茨曲线假说检验与政策启示[J]. 经济研究, 2019, 54(11): 180-194.
- [10] 邹秀清. 中国土地财政与经济增长的关系研究——土地财政库兹涅茨曲线假说的提出与面板数据检验[J]. 中国土地科学, 2013(5): 14-19.
- [11] 揭昌亮, 王金龙, 庞一楠. 中国农业增长与化肥面源污染: 环境库兹涅茨曲线存在吗? [J]. 农村经济, 2018(11): 110-117.
- [12] 阎虎勤. Python 财务数据分析(讲义) [Z]. 厦门国家会计学院, 2020 年春季学期.

<sup>3</sup>关于《江西省环境污染防治条例(修订草案)》的说明 - 江西人大新闻网 - 中国江西网首页, <http://www.jxrd.gov.cn/system/2009/02/11/011022491.shtml>.

<sup>4</sup>人民日报: 既要金山银山, 也要绿水青山, [https://www.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_4200522](https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_4200522).

<sup>5</sup>财税[2016]53号 财政部 国家税务总局关于全面推进资源税改革的通知。