

Analysis of the Relationship between Industrial Waste Discharge and Per Capita GDP in Chengdu

—A Metrological Analysis Based on Environmental Kuznets Curve (EKC)

Enchi Liu, Xinhong Lin, Wendan Liu, Huqing Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian
Email: 1311388945@qq.com

Received: Apr. 28th, 2020; accepted: May 21st, 2020; published: May 28th, 2020

Abstract

Based on the environmental Kuznets theory, taking Chengdu as an example, this paper uses Python to estimate the EKC curve of the data. The research results show that the emissions of pollutants in Chengdu from 1997 to 2018 have a correlation with GDP per capita and are in line with the environmental Kuznets curve; among them, the GDP per capita and the amount of industrial wastewater per capita discharge show an inverted "U" Curve; the relationship between industrial exhaust per capita emissions and GDP per capita shows an inverted "N" curve. The relationship between the discharge of industrial solid waste per capita emissions and GDP per capita shows an inverted "U" curve.

Keywords

Industrial Waste Discharge, Economic Growth, GDP Per Capita, EKC

成都市工业废弃物排放与人均GDP之间的关系分析

——基于环境库兹涅茨曲线(EKC)的计量分析

刘文丹, 林鑫洪, 刘恩赤, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门
Email: 1311388945@qq.com

收稿日期: 2020年4月28日; 录用日期: 2020年5月21日; 发布日期: 2020年5月28日

摘要

基于环境库兹涅茨理论,以成都市为例,本文使用Python对数据进行EKC曲线估计。研究结果显示,成都市1997~2018年污染物的排放量与人均GDP之间有相关关系且均符合环境库兹涅茨曲线;其中,人均GDP与工业废水人均排放量之间呈现倒“U”型曲线,工业废气人均排放量与人均GDP之间呈现倒“N”型曲线关系、工业固体废弃物人均排放量与人均GDP之间呈现“N”型曲线关系。

关键词

工业废弃物排放量, 经济增长, 人均GDP, 环境库兹涅茨曲线

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. 引言与文献综述

随着工业化和城市化进程的加快,环境问题已成为制约我国经济发展的瓶颈,同时也是危及人类生存与发展的全球性根本问题。而实现经济的可持续发展,环境保护起着至关重要的作用。为此,研究经济发展与环境污染关系十分有意义。环境库兹涅茨曲线是研究区域经济增长与环境质量之间演替关系的模型,由诺贝尔奖获得者库兹涅茨提出,其研究表明:当经济发展达到一定水平后,也就是说,到达某个临界点或称“拐点”以后,随着人均收入的进一步增加,环境污染又由高趋低,其环境污染的程度逐渐减缓,环境质量逐渐得到改善,呈现倒U型曲线特征。

中国学者对于该曲线理论的探讨主要集中在对于各个省市的实证研究上。2008年穆红莉研究结果表明产业结构的升级、环保意识的提高等因素导致目前北京市的环境污染程度正在逐渐转好、经济高速发展的同时环境也得到有效保护、完成了向可持续发展道路的转变[1]。2010年刘璨以计量经济学模型为基础,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[2]。2011年成舸发现由于中国工业化的发展导致江苏省在不同的时间段里碳排放与经济呈现不同的相关关系[3]。2019年魏雪梅以统计学为基础,研究出福州市2001~2016年工业废水排放量、工业氨氮排放量、工业二氧化硫排放量与人均GDP拟合曲线呈现“N”型左半边特征;工业化学需氧量排放量、工业烟(粉)尘排放量与人均GDP拟合曲线呈现倒“N”型特征;工业固体废物产生量、工业废气排放量与人均GDP拟合曲线呈现倒“N”型右半边特征[4]。2020年王懿基于环境库兹涅茨理论,以安徽省为例,使用SPSS软件对数据进行EKC曲线估计,同时采用ARCGIS软件对省内各地市环境污染程度进行分析。研究结果显示,人均GDP与工业废水排放总量之间呈现倒“N”型曲线,工业废气排放量、工业固体废弃物排放量两种指标与人均GDP之间呈现倒“U”型曲线关系[5]。

成都市作为中国西南地区重要的经济中心,对西南地区经济的发展具有重要的引导和示范作用,本文利用成都市1997~2018年成都市环境经济数据,选取具有代表性的环境污染与经济发展指标,通过Python对经济发展与环境污染状况进行趋势分析,构建成都市主要环境污染指标与人均GDP计量模型,通过探索成都市经济发展与环境污染之间的关系,从而为成都市生态文明建设提供理论依据[6]。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 数据来源

文章用于反应环境污染的指标共有三项，包括工业废水排放量、工业废气排放量和工业固体废弃物排放量，数据主要来源于四川省统计年鉴、成都市统计年鉴、中华人民共和国国家统计局网站、中国统计年鉴(1997~2019)；部分统计年鉴数据出现不一致时以中国统计年鉴数据为准。由于数据的可得性，计量分析中工业废水排放量、工业废气排放量和工业固体废弃物排放量三项估计年限为 1997~2018。经济增长指标以年人均 GDP 来衡量，考虑到通货膨胀因素的影响，本文种的经济增长指标数据均采取了名义 GDP 除以 GDP 平减指数，获得剔除了通货膨胀因素影响的实际 GDP 数值。由此得到人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表(见表 1)。

Table 1. Statistics of GDP per capita and the three wastes

表 1. 人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表

年份	人均 GDP (单位: 元)	工业污水排放量 (单位: 吨)	工业废气排放量 (单位: 立方米)	工业固体废弃物量 (单位: 千克)
1997	8709.2840	274,600,000	65,100,000,000	2970,000,000
1998	9734.7054	259,330,000	71,200,000,000	2840,000,000
1999	10,545.7557	274,920,000	58,347,000,000	2630,000,000
2000	11,184.9581	341,540,000	71,859,000,000	2890,000,000
2001	12,703.0506	343,650,000	87,287,000,000	3463,400,000
2002	14,388.3512	334,520,000	95,723,000,000	3,529,500,000
2003	15,914.5417	326,010,000	105,267,000,000	3,591,800,000
2004	17,920.3681	329,650,000	115,353,000,000	4,121,900,000
2005	21,133.8177	325,170,000	128,859,000,000	4,239,800,000
2006	24,174.3728	304,060,000	304,807,500,000	6,210,000,000
2007	28,075.6061	242,470,000	265,249,500,000	6,343,000,000
2008	32,532.3035	206,980,000	220,747,500,000	7,250,000,000
2009	39,592.6986	245,540,000	199,800,000,000	5,760,000,000
2010	45,201.1769	122,590,000	222,500,000,000	5,130,000,000
2011	55,285.2219	844,670,000	283,200,000,000	5,180,000,000
2012	67,782.2164	881,040,000	297,100,000,000	5,850,000,000
2013	75,052.8995	105,240,000	304,900,000,000	5,330,000,000
2014	82,409.5192	100,640,000	244,700,000,000	4,520,000,000
2015	87,898.6628	114,540,000	171,100,000,000	2,940,000,000
2016	86,073.3721	92,620,000	210,500,000,000	2,960,000,000
2017	93,149.8504	83,190,000	385,875,000,000	2,607,400,000
2018	101,013.935	79,110,000	260,569,000,000	2,951,100,000

2.2. 研究方法

2.2.1. 方法概述

本文利用 Python 语言，建立切比雪夫多项式模型对成都市人均 GDP 进行预测。将预测得到的人均

GDP 值作为自变量，通过构造一般多项式模型分别预测人均废水、废气和固体废弃物排放量。对一般多项式计量模型得到的方程式，利用 Python 语言进行图形绘制，在绘制时将年份作为 X 轴，有利于将预测结果与年度联系起来，以便更直观分析环境库兹涅茨曲线。

2.2.2. 模型介绍

切比雪夫多项式模型

在微分方程的研究中，数学家切比雪夫(Tschebyscheff)提出切比雪夫微分方程(其中一类):

$$(1-x^2)y'' - xy' + n^2y = 0 \tag{1}$$

该微分方程的解为:

$$T_0(x) = 1 \tag{2}$$

$$T_1(x) = x \tag{3}$$

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x) \tag{4}$$

x 定义域为[-1, 1]。

由于上述切比雪夫方程的解可以用于多项式插值，可最大限度的降低龙格现象，可实现连续函数的最佳逼近。因此本文采用该类切比雪夫微分方程的解建立切比雪夫多项式模型，对成都市人均 GDP 进行预测[7]。

环境库兹涅茨曲线模型

本文采用以下多项式模型进行拟合，分别是线性方程(Linear)、一元二次方程(Quadratic)、一元三次方程(Cubic)，其计量模型为:

$$Y = b_0 + b_1x \tag{5}$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \tag{6}$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \tag{7}$$

在上述方程中，设定 Y 代表成都市环境状况:

- 1) 方程式在 $b_1 = b_2 = b_3 = 0$ 的情况下则表示经济增长不会对环境质量状况产生影响。
- 2) 方程式在 $b_1 > 0, b_2 = b_3 = 0$ 的情况下表示经济发展与环境状况呈现线性正相关关系，也就是说经济增长会带来环境质量状况的恶化。
- 3) 方程式在 $b_1 < 0, b_2 = b_3 = 0$ 的情况下，经济发展水平与环境质量状况呈现线性负相关关系，表示经济增长不会引起环境状况的恶化。
- 4) 在 $b_1 > 0, b_2 < 0, b_3 = 0$ 的情况下，经济发展与环境状况与环境库兹涅茨曲线相吻合，呈现出倒“U”型的曲线关系，也就是说环境质量状况会逐渐恶化而后会得以改善，逐渐转好。
- 5) 在 $b_1 < 0, b_2 > 0, b_3 = 0$ 的情况下，经济增长与环境质量状况恰恰与环境库兹涅茨曲线相反，呈现出“U”型曲线关系，这意味着随着经济的增长，环境质量状况会变好而后逐渐恶化。
- 6) 在 $b_1 > 0, b_2 < 0, b_3 > 0$ 的情况下，经济增长与环境呈现“N”型关系，表示环境质量状况随经济发展先变好再恶化，当经济持续增长时环境质量状况会再次转好。
- 7) 在 $b_1 < 0, b_2 > 0, b_3 < 0$ 的情况下，经济增长与环境呈现倒“N”型关系，意味着随着经济的增长，环境质量状况会逐渐恶化而后会得以改善，最后再次呈现下降趋势。
- 8) 当 $b_1 = b_2 = b_3 = 0$ 时特殊状况出现，表示环境污染与经济水平无相关关系[5]。

3. 成都市经济发展指标与环境污染方程拟合结果分析

3.1. 成都市人均 GDP 的方程拟合

基于 1997~2018 年成都市人均 GDP 数值, 通过切比雪夫多项式模型预测到 2030 年成都市人均 GDP 数值, 得到如下结果(表 2):

Table 2. Chebyshev polynomial curve equation and Test of fitness

表 2. 切比雪夫多项式曲线方程与检验结果

指标名称	拟合结果
Chebyshev 多项式的根	[99,102.1393, 120,273.1491, 28,685.7361]
Chebyshev 拟合多项式	$Y = 70416.4032 + 120273.1491x + 57371.4721x^2$
R^2	0.9817
R	0.9908
Adjusted R^2 (考虑自由度)	0.9798
SER (回归误差分布离散度)	4579.2796
RMSE (均方根误差)	4255.6179

根据切比雪夫多项式模型得到的结果显示, R^2 的值为 0.9817, 表明拟合结果较好, 因此采用拟合多项式绘制图片(见图 1), 并同时输出预测得到的 GDP 数值(见表 3)。

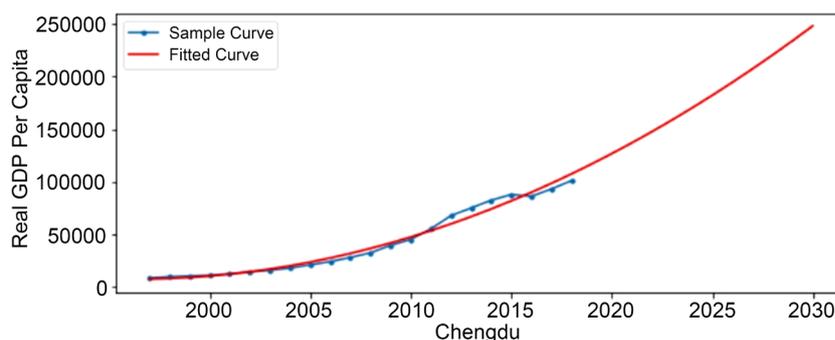


Figure 1. Chengdu GDP per capita

图 1. 成都市人均 GDP

由图 1 可见, 1997~2018 年期间, 成都市人均 GDP 稳步增长, 且预测 2019 年至 2030 年, 人均 GDP 将继续呈上升趋势。

Table 3. Forecast Chengdu's GDP per capita from 2019 to 2030

表 3. 预测成都市 2019-2030 人均 GDP

年份	人均 GDP(单位: 元)	年份	人均 GDP(单位: 元)
2019	116,882.0609	2025	182,112.2976
2020	126,700.1128	2026	194,459.1196
2021	136,939.6264	2027	207,227.4033
2022	147,600.6017	2028	220,417.1486
2023	158,683.0386	2029	234,028.3557
2024	170,186.9372	2030	248,061.0245

3.2. 工业废水人均排放量的方程拟合

对于环境库兹涅茨曲线的研究公式，目前主要有线性、二次、三次等，为了保证所选模型能够准确表达工业废水人均排放量与人均 GDP 之间的关系，依次构建模型，模型参数如下文所示。

根据人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表(表 1)通过线性回归分析得到如下结果：

Table 4. Fitting results of industrial wastewater per capita discharge and per capita GDP equation in Chengdu

表 4. 成都市工业废水人均排放量与人均 GDP 方程拟合结果

方程式	误差值			参数估计值			
	R ²	SER	RMSE	常数	b1	b2	b3
线性	0.1168	17884.52	17052.22	3.41E+04	-0.1974		
二次曲线模型	0.2354	17072.99	15866.28	1.91E+04	0.7854	-9.60E-06	
三次曲线模型	0.2899	16904.01	15290.25	3.62E+04	-0.9278	3.04E-05	-2.55E-10

由成都市工业废水人均排放量与人均 GDP 方程拟合结果(表 4)可以看出，在成都市人均 GDP 与工业废水人均排放量的三种拟合方程中，二次曲线模型与三次曲线模型中的 R² 值比线性方程式更大，分别为 0.2354 和 0.2899，其中三次曲线模型拟合程度更好。通过对比二次模型和三次模型的误差值可以发现，总体上三次模型的误差值 SER (回归误差分布离散度)和 RMSE (均方根误差)更小。因此，将三次曲线模型定为此次成都市人均 GDP 与工业废水人均排放量最终的回归方程：

$$Y = -2.551e-10X^3 + 3.043e-05X^2 - 0.9278x + 3.619e+04 \quad (8)$$

利用 Python 绘图得到图 2：

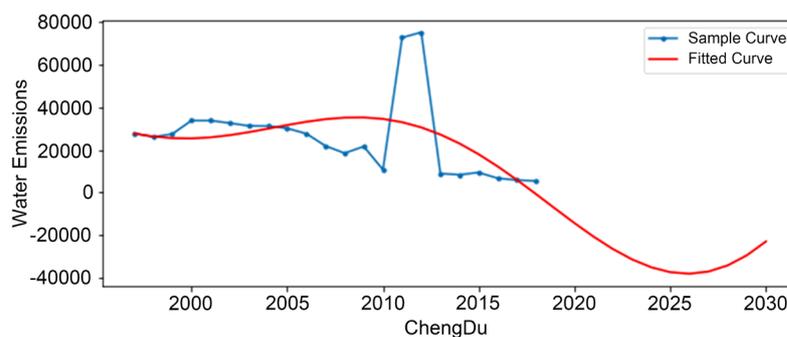


Figure 2. Quadratic curve model of industrial wastewater per capita discharge and GDP per capita in Chengdu

图 2. 成都市工业废水人均排放量与人均 GDP 二次曲线模型拟合图形

根据人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表(表 1)统计数据可知，至最近 1 个统计年份 2018 年的工业废水排放量已降低为拐点年份 2012 年废水排放总量的 9%，由于工业废水排放量无法降低为负值，因此将此模型中预测为负值的年份数据排除考虑。根据方程拟合结果，排除考虑预测为负值的年份，工业废水排放人均量与成都市人均 GDP 两者之间呈现倒“U”型曲线特征，废水排放污染与人均 GDP 之间关系基本符合标准的环境库兹涅茨曲线，意味着随着人均 GDP 的增长，成都市工业废水人均排放量会先增加再减少。同时，由图 2 可以看出，在人均 GDP 较低时，成都市的工业废水排放量随着人均 GDP 增加而波动上升，在 2012 年人均 GDP 为 67,782.2 万元时达到一个峰值，而后随着人均 GDP 增加在逐渐减少。当前，成都市正处于倒“U”型曲线的右侧，意味着随着人均 GDP 的增长，废水人均排放量在逐渐减少，说明工业废水污染治理在近年来取得了良好的效果。根据拟合图的趋势可以合理预测在未来年度，

工业废水人均排放量将继续实现缓慢且平稳的下降，随着废水处理率和达标率的提升，很有可能实现工业废水的零污染。

由上述分析可以得出，成都市在经济高速发展的前期，工业废水的人均排放量会不断上升，在经济发展的中期阶段，达到一个峰值。而在经济发展的后期阶段，工业废水的污染程度会相对而言逐渐有所缓和，说明成都市政府充分认识到水资源是经济社会可持续发展的重要性资源，并且在工业废水治理方面成效显著。根据调查显示，随着工业发展和居民生活水平提高，成都市的废水处理率和达标率的提升是成都水质变化的主要原因，这与成都市政府努力促进全市绿色发展、低碳发展，建立健全一套绿色发展制度、构建四大绿色发展体系、打赢三大污染防治攻坚战(即实施“143”行动计划)密不可分[8]。除此之外，成都市水务局在 2015 年组织开展了《成都市水生态系统 2025 规划》，重点结合沿岸产业布局、生态保护、环境治理、交通旅游、水源涵养等功能对全域河流水系进行综合治理，加快提升成都城乡水生态环境，从中也可以看出成都市政府对治理废水污染的重视。

3.3. 工业废气人均排放量的方程拟合

根据人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表(表 1)通过线性回归分析得到如下结果：

Table 5. Fitting results of industrial exhaust per capita emissions and per capita GDP equation in Chengdu
表 5. 成都市工业废气人均排放量与人均 GDP 方程拟合结果

方程式	误差值			参数估计值			
	R ²	SER	RMSE	常数	b1	b2	b3
线性	0.3551	6078.2355	5795.3701	1.026e+04	0.1368		
二次曲线模型	0.6576	4543.7410	4222.5910	732.1000	0.7612	-6.096e-06	
三次曲线模型	0.6987	4386.5853	3967.8157	-5082.0000	1.3450	-1.975e-05	8.699e-11

由成都市工业废气人均排放量与人均 GDP 方程拟合结果(表 5)可以看出，在成都市人均 GDP 与工业废气人均排放量的三种拟合方程中，二次曲线模型与三次曲线模型中的 R² 值表现比较良好，分别为 0.658 与 0.698，二者数值接近，说明这两种曲线模型在此次拟合结果的理想程度相似。由于三次曲线模型线的 SER(回归误差分布离散度)和 RMSE(均方根误差)比二次曲线的更小，因此三次曲线拟合结果与实际数据的轨迹吻合度很高，因此，将三次曲线模型定为此次成都市人均 GDP 与工业废气人均排放量最终的回归方程：

$$Y = 8.699e-11x^3 - 1.975e-05x^2 + 1.345x - 5082 \tag{9}$$

利用 Python 绘图得到图 3：

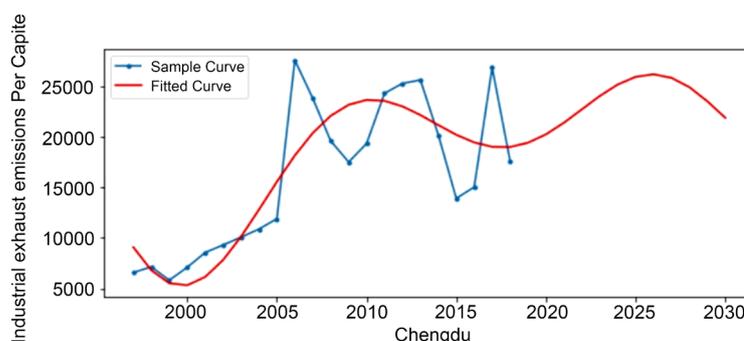


Figure 3. The cubic curve model of industrial exhaust per capita emissions and GDP per capita in Chengdu
图 3. 成都市工业废气人均排放量与人均 GDP 三次模型拟合图形

Table 6. Chengdu City Industrial exhaust per capita Emissions and Per Capita GDP Forecast
表 6. 成都市工业废气人均排放量与人均 GDP 预测值

年份	工业废气(单位: 立方米)	年份	工业废气(单位: 立方米)
2019	19,444.0815	2025	25,976.3343
2020	20,274.5711	2026	26,223.7671
2021	21,423.2018	2027	25,876.0652
2022	22,749.1900	2028	24,944.5117
2023	24,076.1257	2029	23,547.0870
2024	25,212.4170	2030	21,912.2142

根据图 3 和表 6 可以看出,工业废气人均排放量与成都市人均 GDP 两者之间呈现倒“N”型曲线特征,意味着当人均 GDP 持续增加时,成都市工业废气人均排放量会经历增加、减少、再增加的过程。由表 1 可以看出,1997~2018 年间,当人均 GDP 持续增加时,工业废气人均排放量有所增长,但并不是直线上涨,其增长的速度也在放缓。其中,当人均 GDP 在 10,000~18,000 元时,工业废气人均排放量的增长速度较为缓慢;当人均 GDP 在 20,000~30,000 元时,工业废气排放量增加,且是短时间内快速增长;当人均 GDP 超过 30,000~45,000 元时,工业废气人均排放量的减少,当人均 GDP 在 50,000~80,000 元时,工业废气人均排放量又开始增加,但增速明显比人均 GDP 在 20,000~30,000 元时增速小一些,而人均 GDP 在 80,000~90,000 元时又开始下降。当人均 GDP 超过 90,000 元时,废气排放量又开始增加,但增速比上次有所减缓。

由此可以得出,成都市在经济高速发展的前期,由于企业的数量规模都较小,工业废气的污染程度会相对而言较小,而在经济发展中期的时期,为了追求高速发展,企业的规模和数量都大幅增加,因此废气的排放量陡然增加,在经济发展的后期阶段,我国经济转向高质量展,同时对环保的重视程度越来越高,为积极响应习总书记的“绿水青山就是金山银山”,多数企业都采取了相应的环保措施,因此工业废气的污染排放量在虽然有所增加,但其增速在放缓。对于废气排放的问题,成都市也一直给出了多种应对措施,对照环保部新修订颁布的《环境空气质量标准》,成都市编制《成都市环境空气质量达标规划》和(2012~2016 年)大气环境治理工作五年实施方案,建立成都市大气污染源排放清单,特制定大气环境污染源调查工作方案。2016 年对电、水电、钢铁、铜铅锌冶炼、石化、制浆造纸、高速公路等七个行业建设项目进行了更严格的监控,对这七个高污染行业提出有效的环境保护措施和风险防范措施,强化总量控制、区域削减、以新带老等污染减排要求,有效预防环境污染和生态破坏,促进区域环境质量改善,推动绿色发展。

3.4. 工业固体废弃物人均排放总量的方程拟合

根据人均 GDP 与“三废”排放量数据统计表(表 1),可以看出工业固体废弃物人均排放量在 1997~2007 年区间内呈大致上升趋势,于 2008 年达到高峰,随后除了在 2012 年又达到一个小高峰之外,2008~2018 年基本呈逐渐递减的趋势。结合实际与预测得到的 1997~2030 年的人均 GDP 数值,通过线性回归分析得到如下结果(表 7):

Table 7. Fitting results of industrial solid waste per capita emissions and per capita GDP equation in Chengdu
表 7. 成都市工业固体废弃物人均排放量与人均 GDP 方程拟合结果

方程式	误差值			参数估计值			
	R ²	SER	RMSE	常数	b1	b2	b3
线性	0.0653	127.0027	121.0923	419.3000	-0.0010		
二次曲线模型	0.7344	69.4614	64.5519	173.4000	0.0151	-1.574e-07	
三次曲线模型	0.7956	62.5958	56.6201	48.6400	0.0276	-4.503e-07	1.867e-12

由表 7 可知, 三次曲线模型中的 R^2 值优于线性方程与二次曲线, 且 SER (回归误差分布离散度)和 RMSE(均方根误差)较小, 说明其拟合结果相对比较理想, 因此, 将三次曲线模型定为此次成都市人均 GDP 与工业废弃物排放人均排放量最终的回归方程:

$$Y = 1.867e-12x^3 - 4.503e-07x^2 + 0.0276x + 48.6400 \quad (10)$$

利用 Python 绘图数据输出得到成都市工业固体废弃物人均排放量与人均 GDP 三次模型拟合图形(见图 4)和预测数值(见表 8):

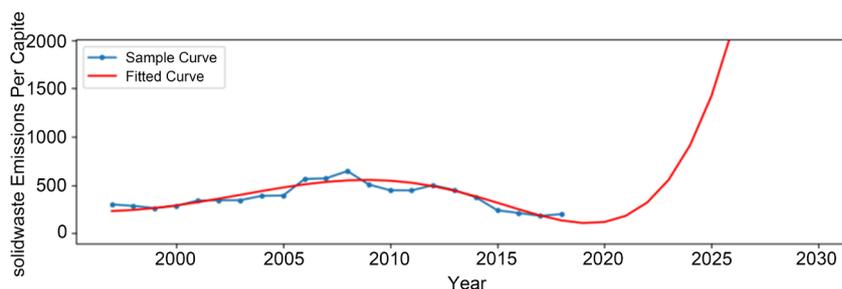


Figure 4. Cubic model of industrial solid waste per capita emissions and GDP per capita in Chengdu
图 4. 成都市工业固体废弃物人均排放量与人均 GDP 三次模型拟合图形

Table 8. Forecast of Chengdu's industrial solid waste per capita emissions in 2019 to 2030

表 8. 预测成都市 2019~2030 工业固体废弃物人均排放量

年份	工业固体废弃物(单位: 千克)	年份	工业固体废弃物(单位: 千克)
2019	107.7652	2025	1422.4105
2020	118.2585	2026	2122.3071
2021	182.6195	2027	3051.1936
2022	320.3610	2028	4254.2043
2023	554.4285	2029	5782.0042
2024	911.5188	2030	7691.1827

由图 4 与表 8, 可以看出三次拟合曲线 1997~2030 年整个区间内呈现“N”型结构, 拟合曲线在 2010 年出现第一次拐点, 而后逐渐下降在 2020 年出现二次拐点, 在 2023 年之后却出现迅速攀升, 远远高于第一次拐点的最高值。结合成都市近年来, 对于“三废”的治理力度不断加大的情况来看, 工业固体废弃物人均排放量在 2023 年之后迅速攀升的现象应当是不太可能发生, 故对 2023 年之后的预测数据不做详细分析。当前, 成都市正处于倒“N”型曲线的二次拐点处, 意味着随着人均 GDP 的不断增长, 固体废弃物人均排放量可能会经历再增加的过程。

4. 结论与建议

本文基于切比雪夫多项式模型与环境库兹涅茨曲线模型, 以成都市为例, 使用 Python 对相关数据进行 EKC 曲线估计。研究结果显示, 成都市 1997~2018 年工业污染物的排放量与人均 GDP 之间有相关关系且基本符合环境库兹涅茨曲线。其中, 人均 GDP 与工业废水人均排放量呈现倒“U”型曲线, 人均 GDP 与工业废气人均排放量呈现倒“N”型曲线, 人均 GDP 与工业固体废弃物人均排放量呈现“N”型曲线关系, 表明随着经济的不断发展, 成都市的废水污染问题正在得到改善, 废气与固体废弃物污染问题在一定程度上有所缓解, 但仍需要持续投入加大治理。成都市的经济发展正步入新常态, 经济增速从高速转向中高速, 经济结构从中低端迈向中高端, 发展方式从规模速度型增长转向质量效益型增长, 需要协调

好经济发展同生态环境保护的关系，促进经济的可持续发展。为促进成都市经济的可持续发展，可从以下几个方面入手：

在政策层面，成都市政府应继续努力促进全市绿色发展、低碳发展，建立健全一套绿色发展制度、构建四大绿色发展体系、打赢三大污染防治攻坚战，落实好“143”行动计划。根据拟合结果，人均 GDP 与工业废气人均排放量、工业固体废弃物人均排放量之间仍呈现倒“N”型与“N”型曲线关系，因此对工业废气、固体废弃物的治理需要尤其关注。例如针对工业废气，成都市在 2019 年刚颁布了《成都市 2019 年大气污染防治工作行动方案》，那么政府应该将这样的政策严格执行到位。

在环保意识层面，政府应加强生态文明建设的宣传，提高普通民众与企业的环保意识，营造绿色生活、生产的社会氛围。同时，社会各界还可以积极引导良好的社会舆论，对绿色生活、生产方式进行鼓励，对罔顾法制的行为强烈斥责。当然对于奖惩机制，光靠舆论引导是不足的，应结合制度安排，对那些不达标对环境产生负外部效应的企业，采取能够使其感受到切肤之痛的惩罚措施，而针对那些在绿色生产方便做得极好的企业给予适当支持。

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] 穆红莉. 北京市环境库兹涅茨曲线特征分析[J]. 生态 经济(学术版), 2008(1): 366-368, 380.
- [2] 刘璨, 吕金芝. 中国森林资源环境库兹涅茨曲线问题研究[J]. 制度经济学研究, 2010(2): 138-161.
- [3] 成舸, 岳贤平. 基于环境库兹涅茨曲线的经济增长与碳排放相关性研究: 以江苏为例[J]. 商场现代化, 2011(5): 92-94.
- [4] 魏雪梅. 基于库兹涅茨曲线的福州市经济发展与环境污染关系研究[J]. 绿色科技, 2019(24): 143-147.
- [5] 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(2): 49.
- [6] 朱冉. 成都市在产业转移下的经济增长和污染:环境库兹涅茨曲线的启示[C]//中国地理学会经济地理专业委员会. 2017 年中国地理学会经济地理专业委员会学术年会论文摘要集. 中国地理学会经济地理专业委员会: 中国地理学会, 2017: 96.
- [7] 王先传, 江岩, 赵佳, 张岩, 等. 基于切比雪夫多项式的函数插值逼近[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2017(4): 3-11.
- [8] 王锋君. 实施“143”行动计划, 推动成都生态环境保护[J]. 先锋, 2017(2): 43-44.