

# Empirical Study on Environmental Kuznets Curve of Jinan City

Shuyang Chen, Xuezu Liu, Yunyue Sha, Hexin Zhang, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian  
Email: sherryisbetter@163.com

Received: Apr. 27<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 15<sup>th</sup>, 2020; published: May 22<sup>nd</sup>, 2020

---

## Abstract

Based on the environmental Kuznets curve, taking Jinan as an example, python is used to analyze data on economic development and environmental quality-related indicators. The results show that the relationship between environmental pollution and economic development in Jinan is basically in line with the environmental Kuznets curve hypothesis, which mainly presents an inverted U-shaped curve and also an inverted N-shaped curve.

## Keywords

Environmental Kuznets Curve, Discharge of Pollutants, Per Capita GDP

---

# 济南市环境库兹涅茨曲线实证研究

陈书洋, 刘雪竹, 沙蕴玥, 张和新, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门  
Email: sherryisbetter@163.com

收稿日期: 2020年4月27日; 录用日期: 2020年5月15日; 发布日期: 2020年5月22日

---

## 摘要

基于环境库兹涅茨曲线, 以济南市为例, 使用python对经济发展和环境质量相关指标的数据进行研究分析。研究表明, 济南市环境污染与经济发展之间的关系基本符合环境库兹涅茨曲线假说, 主要呈现出倒U型曲线, 也存在倒N型曲线。

## 关键词

环境库兹涅茨曲线, 污染物排放, 人均GDP

---



## 1. 引言

伴随着经济社会的不断发展和人民生活水平的不断提高,环境问题开始得到越来越为广泛的关注,党和政府也对此尤为重视。从提出建立“环境友好型社会”到“绿水青山就是金山银山”,再到“蓝天白云保卫战”,我国始终致力于污染治理、环境保护,以真正实现可持续发展。济南作为山东的省会,自改革开放以来,一直坚持以生态立市,污染治理取得了巨大的成就,城乡面貌得到极大改观,大幅提升了城市的发展水平。在此背景下,本文通过引入环境库兹涅茨曲线对济南经济增长与环境质量之间的关系进行实证分析,以期对济南的生态文明建设提供理论依据,推动实践发展。

## 2. 文献回顾

目前中国已经有许多学者结合环境库兹涅茨曲线针对各省市的环境状况进行实证研究。王懿发现安徽省人均 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[1]。沈琼、邓文刚发现河南省水污染与经济发展之间的关系呈现出波浪型和倒“N”型两种情况[2]。张晓莉等人发现四类新疆工业污染排放的库兹涅茨曲线都呈现倒“N”型曲线特征,而非倒“U”型。她们认为,除经济发展外,产业结构、城市发展、环境效力、国际贸易和能源消费等也是影响工业污染物排放的主要因素[3]。张小雨发现安阳市经济增长与环境污染程度的曲线符合标准的 EKC 特征,整体环境状况正向好发展[4]。宋佳莹和葛亚平认为江苏省工业“三废”的 EKC 曲线并不表示经济发展水平和环境质量状况之间存在必然的关系,其具体形态取决于人类生产生活各类活动[5]。朱彤和李纯斌认为耕地资源流失量与经济发展的关系是一个非常复杂的问题,不同的地区、不同的时期所呈现出的规律也是不一样的[6]。李晓春等人验证出江浙沪地区最低工资标准对环境污染均存在倒 U 型关系,并确认江浙沪在某些污染指标上已经到达环境库兹涅茨曲线后半段[7]。杨晓华和王芳发现北京市碳排放量除了与经济增长之间存在倒 N 型关系,还受到产业结构、能源强度和城镇化率的影响,并提出了对应的政策建议[8]。梁四宝发现山西省主要环境指标模型的环境库兹涅茨曲线特征并不明显,各污染排放量与人均实际 GDP 仍处于同步上升阶段,说明山西省环境质量随着经济增长仍处于恶化阶段[9]。翟兰英等人通过运用环境库兹涅茨曲线理论和灰色预测模型发现邢台市工业“三废”的环境库兹涅茨曲线属于倒“N”型三次曲线关系[10]。赵选民和王军发现陕西省工业废气和固体废弃物排放量处于倒“U”型环境库兹涅茨曲线的左侧,仍在上升[11]。王菲等人对我国 27 个省份进行数据研究,发现其二氧化碳排放量与经济发展的曲线关系均满足倒“U”型,但拐点存在差异[12]。

## 3. 数据来源及研究方法

### 3.1. 数据来源

本文所使用数据均来自《济南市统计年鉴》,如表 1 所示,本文获取 7 种数据来进行人均 GDP 的预测和相关环境指标的拟合。数据资料显示,自 2009 年起济南市 GDP 数值总体呈直线上升趋势;工业废水排放量总体呈先上升后下降的趋势,2013 年达到最大值。工业化学需氧量排放量的最大值出现在 2010 年,为 8816 吨,此后便呈现下降趋势。工业二氧化硫排放量在 2011 年达到峰值,此后便呈现快速下降趋势。工业氮氧化物的排放量在 2012 年升到最大值,之后呈下降趋势。这四种环境污染指标大致是在

2010~2013 年间达到峰值, 而后均呈下降趋势, 由此看来, 济南市污染治理取得了显著成效。

**Table 1.** Economic environment index of Jinan from 2009 to 2018

**表 1.** 2009~2018 年济南市经济环境指标

年份	国民生产总值(万元)	通货膨胀率(%)	总人口(万人)	工业废水排放量(万吨)	工业化学需氧量排放量(吨)	工业二氧化硫排放量(吨)	工业氨氮排放量(吨)
2009	33,409,059	-0.2105	603.2700	5014	7005	65,944	320
2010	39,105,271	6.8811	604.0800	5594	8816	70,296	428
2011	44,062,889	8.0756	606.6400	6396	5614	109,299	413
2012	48,036,696	2.3351	609.2100	6653	5497	103,187	373
2013	52,301,948	2.1610	613.2500	8596	5413	81,118	380
2014	57,705,966	0.7912	621.6100	7880	5289	67,842	346
2015	61,002,320	0.0627	625.7300	7415	5515	70,327	360
2016	65,361,165	1.0728	632.8300	5993	2777	28,458	186
2017	72,019,553	3.8842	643.6200	5949	2594	16,545	197
2018	78,565,600	2.9014	655.9000	5949	2594	16,545	197

### 3.2. 理论基础

本文主要目的是利用表 1 选取的相关环境污染与经济环境的指标, 构建环境污染指数与人均 GDP 的计量模型, 从而对济南市 2009~2018 年的环境污染和经济发展的趋势进行分析, 并对其做一定程度的预测。这里首先采用切比雪夫多项式对济南市人均 GDP 的增长进行预测, 在预测人均 GDP 时, 为了选取较为准确的预测模型, 应用 Python 语言转换多项式形式, 尝试了幂函数的预测模型。再利用环境库兹涅茨曲线将人均 GDP 与环境污染指标进行拟合。

#### 3.2.1. 切比雪夫多项式

切比雪夫多项式源于多倍角的余弦函数和正弦函数展开式, 是以递归方式定义的多项式序列, 对解决函数逼近问题有非常重要的意义。切比雪夫多项式有两类  $T_n$  和  $U_n$ , 本文对人均 GDP 的预测主要应用第一类切比雪夫多项式( $T_n$ ), 递归式:

$$T_0(x) = 1 \quad ①$$

$$T_1(x) = x \quad ②$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1 \quad ③$$

...

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

多项式表达式:

$$F(x) = a_0T_0 + a_1T_1 + a_2T_2 + \dots + a_{n+1}T_{n+1} \quad ⑤$$

也就是说, 我们只需将  $a_0, a_1, \dots, a_{n+1}$  等系数求出, 再将  $T_0, T_1, \dots, T_{n+1}$  等带入多项式就可以得出相应的函数模型, 也就可以对人均 GDP 进行预测。

我们假定人均 GDP 随时间的变化符合某一函数模型, 只是我们对函数模型的具体形式不得而知, 因此我们通过 Python 语言利用切比雪夫多项式来寻找适合的函数模型, 以便进行较为准确地预测。首先,

我们搜集整理出如表 1 所示 2009 年~2018 年济南市 GDP 数值。再利用 Python 语言在考虑通货膨胀率的情况下算出实际人均 GDP。同时, 利用公式

$$\frac{T-2009}{2008-2019} = \frac{X-(-1)}{1-(-1)} \quad (6)$$

将年份与切比雪夫多项式的定义域 $[-1,1]$ 相对应, 最后调动切比雪夫多项式利用已知数据得出多项式系数, 将系数和递推式带入, 找到一般的函数模型, 再调整多项式阶数找到最优模型。

### 3.2.2. Python 语言下多项式形式的转换

在寻找人均 GDP 预测的幂函数模型时利用以下变化形式:

$$\begin{cases} y = ax + b & \textcircled{1} \\ x = \ln x_0 & \textcircled{2} \\ y = \ln y_0 & \textcircled{3} \end{cases} \Rightarrow \ln y_0 = a \ln x_0 + b \textcircled{4} \Rightarrow \frac{y_0}{x_0^a} = e^b \textcircled{5} \Rightarrow y_0 = e^b x_0^a \textcircled{6}$$

在本文中,  $x_0$  被赋予年份值,  $y_0$  被赋予人均 GDP 值, 并将  $x_0$  与  $y_0$  分别复合进对数函数, 形成②、③式, 利用 Python 语言调动函数可以得出①式的系数  $a$ 、 $b$ , 再根据对数函数的运算性质, 即④、⑤、⑥式的运算过程, 将函数化成幂函数, 也就得到了人均 GDP 关于时间的函数关系。

### 3.2.3. 环境库兹涅茨曲线

环境库兹涅茨曲线是指起初经济发展水平比较低时, 环境污染也会比较轻, 但是随着经济发展水平的提高, 环境污染也加剧。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, 随着经济发展水平的进一步提高, 环境污染又由高趋低, 污染程度趋缓, 环境质量逐渐得到改善, 这种现象被称为环境库兹涅茨曲线。

环境库兹涅茨曲线的计量模型为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 \quad (1)$$

在上述计量模型中,  $y$  代表济南市环境状况:

- 1) 若  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ , 则表示经济增长不会对环境质量状况产生影响。
- 2) 若  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , 则表明经济发展与环境状况线性正相关, 即经济增长会带来环境恶化。
- 3) 若  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , 则表明经济发展与环境质量状况线性负相关, 表示经济增长不会引起环境恶化。
- 4) 若  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 = 0$ , 则表明经济发展与环境状况呈倒 U 形曲线, 即环境库兹涅茨曲线。即环境质量状况会随经济增长先逐渐恶化而后逐渐好转。
- 5) 若  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ ,  $\beta_3 = 0$ , 则表明经济增长与环境质量状况呈现“U”型曲线关系, 即随着经济的增长, 环境质量状况会变好而后逐渐恶化。
- 6) 若  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 > 0$ , 则表明经济增长与环境呈“N”型曲线, 即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) 若  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ ,  $\beta_3 < 0$ , 则表明经济增长与环境呈倒“N”型曲线, 即随着经济的增长, 环境质量状况会逐渐恶化而后会得以改善, 当经济持续增长时环境状况再次呈现下降趋势。
- 8) 若  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ , 则表明环境污染与经济水平没有相关性。

## 3.3. 拟合过程

### 3.3.1. 人均 GDP 预测模型

人均 GDP 是环境库兹涅茨曲线的自变量, 若要使曲线的预测更加准确, 就需要有一个较为准确的人

均 GDP 预测模型。对比表 2 两种预测模型，两种模型的相关性都很高，但二次多项式的  $R^2$  值为 0.996，更接近 1，属于正相关关系，相关性非常好，拟合度高。再将其真实值与预测值进行对比，我们发现二次多项式 2018 年的预测值为 115,551.319，幂函数的预测值为 121,119.372，而 2018 年真实值为 116,405.504，显然二次多项式的预测更加准确些，因此采用切比雪夫多项式的预测模型对人均 GDP 进行预测，得到图 1 曲线。采用切比雪夫多项式预测人均 GDP 的数值如表 3 所示。

**Table 2.** Per capita GDP forecasting model

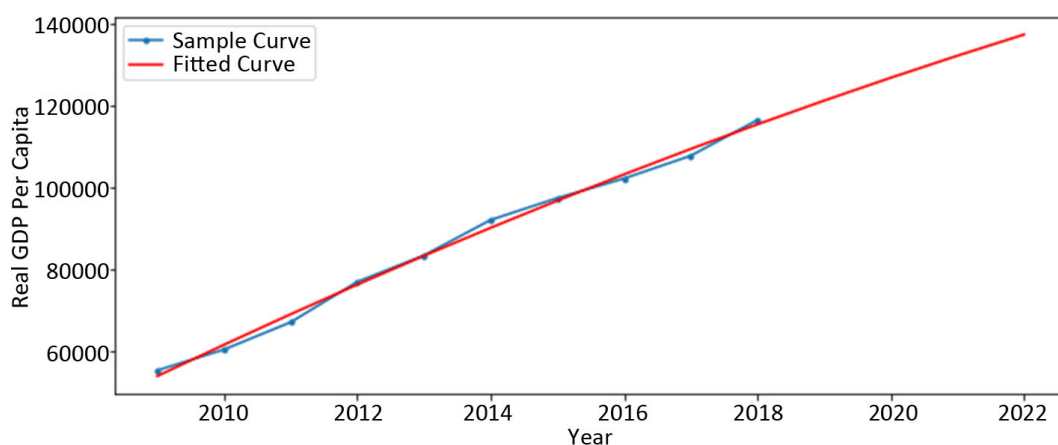
**表 2.** 人均 GDP 预测模型

回归类型	$R^2$	回归方程	2018 年实际值	2018 年预测值
二次多项式	0.996	$x = -4354.060t^2 + 41554.436t + 100012.9353$	116,405.5044	115,351.319
幂函数	0.978	$x = e^{-1251}x^{165.9}$	116,405.5044	121,119.372

**Table 3.** Real GDP per capita compared with the predicted value

**表 3.** 人均 GDP 实际值与预测值比较

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
实际值	55,496.7650	60,567.5390	67,206.9629	77,051.5690	83,482.4474	92,104.3426
预测值	54,104.4389	61,734.0852	69,157.6222	76,375.0498	83,386.3681	90,191.5770
年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
实际值	97,428.7560	102,187.6539	107,713.8108	116,405.5044	—	—
预测值	96,790.6765	103,183.6667	109,370.5475	115,351.3190	121,125.9810	126,694.5338
年份	2021	2022				
实际值	—	—				
预测值	132,056.9771	137,213.3111				



**Figure 1.** Real GDP per capita

**图 1.** 人均实际 GDP

### 3.3.2. 环境污染指数与人均 GDP 拟合结果

如表 4 所示，根据  $R^2$  值得知各个环境污染指标与人均 GDP 的模型拟合效果非常好，工业废水、工业二氧化硫和工业氨氮的模型为倒 U 形，工业化学需氧量的模型为倒 N 形。模型的极值点代表环境污染

指标达到峰值时的人均 GDP 的值，模型的拐点则是曲线趋势发生改变时人均 GDP 的值。

**Table 4.** The fitting results of environmental indexes and per capita GDP in Jinan

**表 4.** 济南市环境污染相关指标与人均 GDP 模型拟合结果

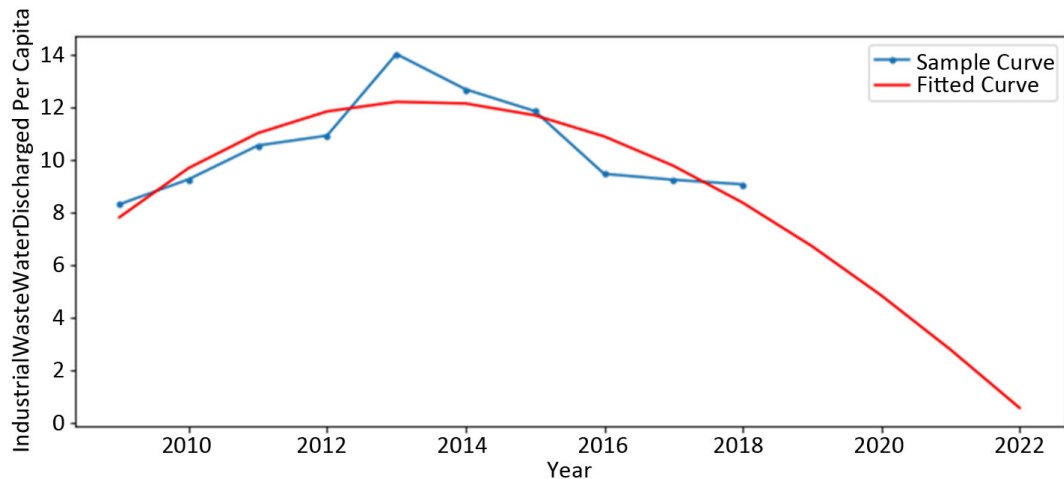
指标	工业废水排放量	工业化学需氧量	工业二氧化硫排放量	工业氨氮排放量
$\beta_0$	-20.12	2.603e-03	-0.02835	-2.117e-05
$\beta_1$	7.544e-04	-3.79e-08	1.181e-06	2.505e-09
$\beta_2$	-4.3898e-09	3.311e-13	-8.094e-12	-1.831e-14
$\beta_3$	—	-1.485e-18	—	—
$R^2$	0.7042	0.8025	0.8057	0.7777
RMSE	0.9438	0.0001	0.0023	7.1580
极值点	85,764.2841	—	72,953.2670	68,406.9678
拐点	—	74,348.3989	—	—
曲线形状	倒 U 形	倒 N 形	倒 U 形	倒 U 形

### 1) 工业废水排放量方程拟合

如表 4 所示，工业废水排放量的拟合方程为：

$$y = -4.3898e-09x^2 + 7.544e-04x - 20.12$$

该图形呈倒 U 形。模型  $R^2$  值为 0.7042，相关性和拟合度均比较好；RMSE 值为均方根误差，是对均方误差值开平方所得，代表预测值与真实值之间的误差，此处 RMSE 值为 0.9438，相对于工业废水排放量来说，误差值非常小，说明模型预测的准确度非常高；模型的极值点为 85,764.2841，说明在人均 GDP 为 85,764.2841 元时，工业废水的排放量达到最大值。如图 2 所示，从 2009 年至 2018 年，济南市工业废水排放趋势先上升后下降，再结合人均 GDP 的数值，即表 3 所示数据，可以知道，工业废水排放量大约在 2013 年到达峰值，随后呈下降趋势，这与表 1 所获取的数据呈现的趋势一致。这是由于济南市在 2012 年对于污水处理工作给予了高度重视，并迅速采取了相应措施，严防严控，抑制了工业废水排放量不断上升的势头。



**Figure 2.** Kuznets curve Of industrial wastewater and per capita GDP in Jinan

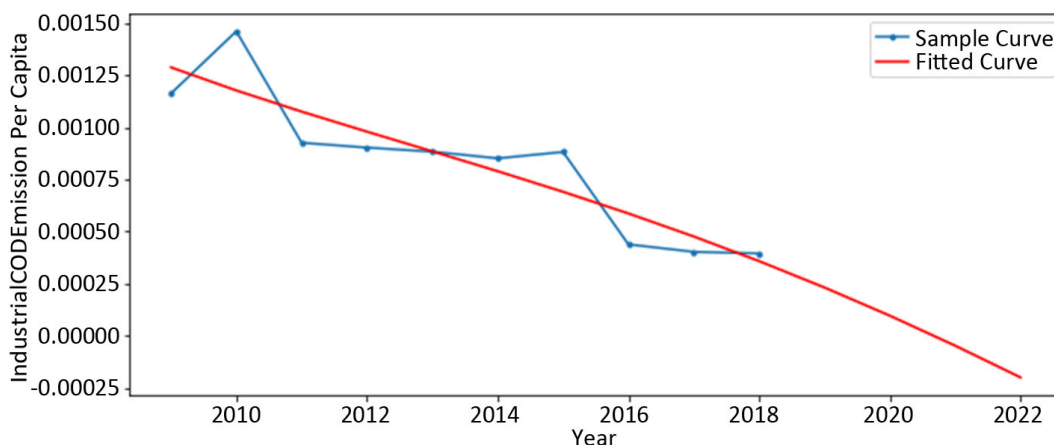
**图 2.** 济南市工业废水排放量与人均 GDP 环境库兹涅茨曲线

## 2) 工业化学需氧量排放量方程拟合

如表 4 所示, 工业化学需氧量排放量的拟合方程为:

$$y = -1.485e-18x^3 + 3.311e-13x^2 - 3.79e-08x + 2.603e-03$$

该图形呈倒 N 形。模型  $R^2$  值为 0.8025, 相关性和拟合度均比较好; RMSE 值为 0.0001, 对比每年的工业化学需氧量排放量来说, 该模型的预测值与真实值之间的误差非常小, 这表明呈倒 N 形的环境库兹涅茨曲线对工业化学需氧量预测的准确性非常高; 模型的拐点为 74,348.3989, 说明在人均 GDP 为 74,348.3989 元时, 工业化学需氧量的排放量的趋势发生改变。如图 3 所示, 2009 年至 2018 年济南工业化学需氧量的排放趋势一直在下降, 但中间经历的下降趋势减缓的过程, 结合人均 GDP 的数值, 即表 3 数据, 可以知道, 工业化学需氧量排放量大约在 2012 年趋势发生改变, 下降趋势有所减缓, 此后便呈现较为快速的下降趋势。



**Figure 3.** Kuznets curve of industrial COD and per capita GDP in Jinan  
**图 3.** 济南市工业化学需氧量与人均 GDP 环境库兹涅茨曲线

“十一五”规划提出到 2010 年全国主要污染物排放总量减少 10% 的约束性指标, 这一指标具有法律效力, 被称为是“不可逾越的红线”。但实际上济南市 2010 年的工业化学需氧量不降反升, 给环保局带来较大的压力。同时, 这也促使了环保局推行更为强有力的措施, 力争增产不增污, 故 2011 年之后总体便呈较快得下降趋势。

## 3) 工业二氧化硫排放量方程拟合

如表 4 所示, 工业二氧化硫排放量与人均 GDP 的拟合方程为:

$$y = -8.094e-12X^2 + 1.181e-06X - 0.02835$$

该图形呈倒 U 型, 拟合较好。  $R^2$  值为 0.8057, 回归方程显著; RMSE 值为 0.0023, 该误差非常小, 说明用模型预测出的工业二氧化硫排放量与真实值的偏差很小, 用该模型对未来四年的预测准确性很高; 模型的极值点为 72,953.2670, 说明在人均 GDP 为 72,953.2670 元时, 工业二氧化硫的排放量达到最大值。从图 4 可以看出, 2009 年到 2018 年随着人均 GDP 的增加, 工业二氧化硫排放量先上升后逐渐下降, 结合表 3 可知, 工业二氧化硫排放量在 2011 年达到较高值后, 开始呈现下降趋势。

济南市于 2012 年环保计划中强调抓好火电、钢铁等重点行业脱硫、脱硝设施的建设和优化完善, 并推进济南钢铁集团总公司 320 平方米烧结机、2 台 120 平方米烧结机、闽源钢铁有限公司 1 号 72 平方米烧结机脱硝设施建设及改造工程, 促进了二氧化硫排放量的削减。

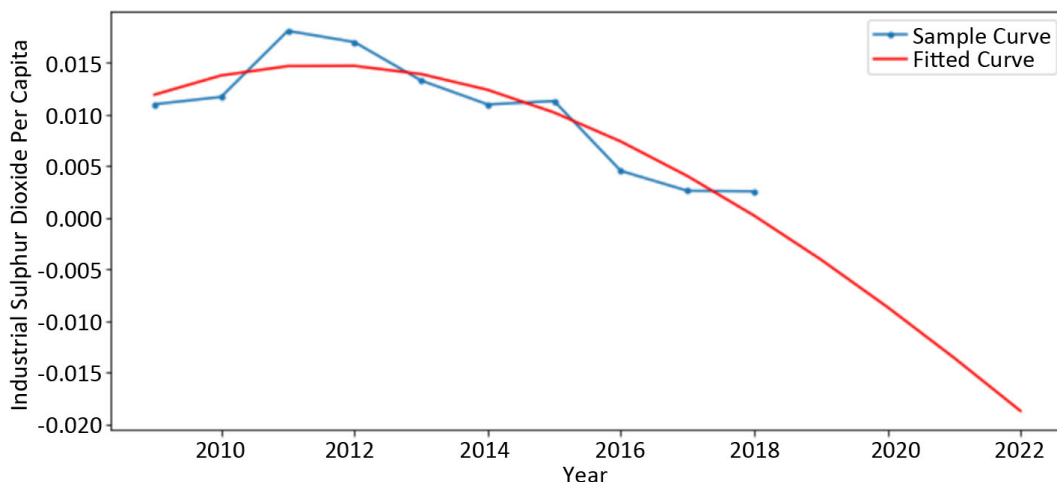


Figure 4. Kuznets curve of industrial sulphur dioxide and per capita GDP in Jinan

图 4. 济南市工业二氧化硫排放与人均 GDP 库兹涅茨曲线

#### 4) 工业氨氮排放量方程拟合

如表 4 所示，工业氨氮排放量与人均 GDP 的拟合方程为：

$$y = -1.831e-14X^2 + 2.505e-09X - 2.117e-05$$

该图形呈倒 U 型，拟合度较好。 $R^2$  值为 0.7777，回归方程显著。RMSE 值为 7.1580，相对每年的以吨计量的工业氨氮排放量来说，该误差比较小，真实值与预测值间的偏差较小，预测的准确度较高；模型的极值点为 68,406.9678，说明在人均 GDP 为 68,406.9678 元时，工业氨氮的排放量达到最大值。由图 5 可以看出，2009 到 2018 年随着人均 GDP 的增加，工业二氧化硫排放量先上升后逐渐下降，结合表 3 数据可以准确知道在 2010 年工业氨氮排放量达到较高值，此后开始呈现下降趋势。

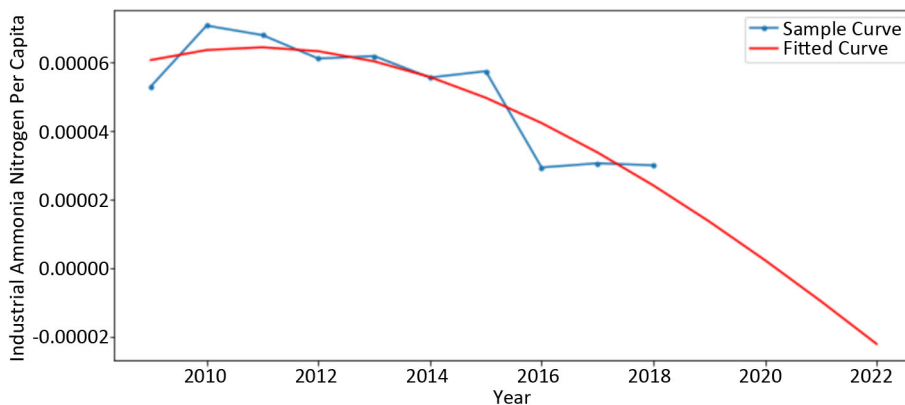


Figure 5. Kuznets curve of industrial ammonia nitrogen and per capita GDP in Jinan

图 5. 济南市工业氨氮排放与人均 GDP 库兹涅茨曲线

氨氮是水体富营养化的主要元素，会导致藻类和一些浮游生物的迅速繁殖，藻类和浮游生物的生长周期非常短，他们死亡后被其他微生物分解，这一过程会大量消耗水中的溶解氧，同时产生有害气体，使水质恶化，造成鱼类和其他水生生物的死亡，如果对这样的现象置之不理只会使水中的生态系统进入恶性循环，随着时间的推移影响到其他的生态系统平衡。对于这种牵一发而动全身的影响传导机制，济南市对工业废水进行脱氮处理，总体成效显著。



成果来之不易，济南市仍存在个别排污口效果不理想，还需要进一步改进污水处理技术，加强监督管理，既要“金山银山”，也要“绿水青山”，将这场“蓝天白云保卫战”进行到底。

#### 4. 结论

本文通过对济南市 2009~2018 年经济发展与环境污染状况进行趋势分析，选取具有代表性的环境经济指标，构建济南市环境主要污染排放量与人均 GDP 计量回归模型，分析环境污染与经济的关系，得出以下结论：

1) 自 2009 年起济南市 GDP 数值总体呈直线上升趋势；工业废水排放量总体呈先上升后下降的趋势，2013 年达到最大值。工业化学需氧量排放量的最大值出现在 2010 年，为 8816 吨，此后便呈现下降趋势。工业二氧化硫排放量在 2011 年达到峰值，此后便呈现快速下降趋势。工业氮氧化物的排放量在 2012 年升到最大值，之后呈下降趋势。这四种环境污染指标大致是在 2010~2013 年间达到峰值，而后均呈下降趋势。

2) 根据 R2 值得知各个环境污染指标与人均 GDP 的模型拟合效果非常好，工业废水、工业二氧化硫和工业氮氮的模型为倒 U 形，工业化学需氧量的模型为倒 N 形。济南市在 2009~2018 年间主要环境污染排放大体经历阶梯状先升后降变化，环境污染控制措施对环境质量改善起到明显效果。

3) 工业废水、工业二氧化硫和工业氮氮与济南市的人均 GDP 之间关系符合标准的环境库兹涅茨曲线，工业化学需氧量与济南市的人均 GDP 之间关系不符合标准的环境库兹涅茨曲线，呈现为倒“N”形特征。

#### 5. 相关建议

第一，转型绿色投资。减少对污染程度高、发展力度小、人民需求小的企业的投资，转而增大对高新技术产业和一些污染相对较少的企业的投资。一方面从投资结构入手，优先投资发展科技含量高、资源节约型、税收贡献大的项目，鼓励优质企业规模化、集约化的发展；另一方面也要提高传统企业的发展质量，提高传统企业的创新能力[9]。

第二，发展循环经济。采用科技手段，推进污染大的企业向绿色环保型企业转变，建立起循环型的工业体系。我们发展经济应该围绕管理环境认证的标准，促使企业放弃粗放型的生产方式，转而向集约型发展，加大对企业排污的监管和现值力度。一个好的经济发展模式具有循环性质，是对生产过程中所产生的废气、废水、废渣的再利用，而不是将这些生产垃圾排向外界，从而达到循环经济的目的[9]。

第三，健全法律法规。通过建立健全相应的水环境治理的法律法规，加强监管力度，使得经济曲线能够持续的朝经济增长水环境污染程度减轻的方向发展。在招商引资过程中，应当根据健全的法律法规对引进的项目进行严格审查，优先引进对环境污染小的企业，对于有污染排放的企业，要根据相关法律法规配备污染物处理设备或将污染物同意集中排放给污染物处理机构，不得私自向外界排放，违规的企业应当给予较重的惩罚并予以公示[10]。

第四，在发展经济的同时，不断调整产业结构，发展高附加值低污染产业，开展节能降耗，推广清洁能源与清洁技术应用，提高全民环保意识，在环保规制与市场机制作用下，使得经济与环境相互协调[13]。

#### 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] 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.

- 
- [2] 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, 33(1): 22-29.
- [3] 张晓莉, 夏衣热·肖开提. 新疆工业污染的库兹涅茨曲线特征及影响因素的灰色关联分析[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(3): 69-78.
- [4] 张小雨. 安阳市经济增长与可持续发展——基于环境库兹涅茨曲线(EKC)的计量分析[J]. 财经界, 2020(1): 36-37.
- [5] 宋佳莹, 葛亚平. 基于环境库兹涅茨曲线的江苏省工业“三废”排放灰色关联度分析[J]. 江苏工程职业技术学院学报, 2019, 19(4): 9-12.
- [6] 朱彤, 李纯斌. 张掖市经济增长与耕地流失的库兹涅茨曲线假说[J]. 中国集体经济, 2019(34): 3-4.
- [7] 李晓春, 伍云云, 梁梦宇. 江浙沪地区最低工资对环境污染的影响探究[J]. 中共南京市委党校学报, 2019(2): 78-84+106.
- [8] 杨晓华, 王芳. 北京市碳排放库兹涅茨曲线的实证研究[J]. 特区经济, 2019(7): 24-30.
- [9] 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.
- [10] 翟兰英, 赵彦红, 王艳超, 朱琛, 李玉平. 资源型城市工业“三废”的环境库兹涅茨曲线实证分析——以邢台市为例[J]. 邢台学院学报, 2018, 33(3): 53-58.
- [11] 赵选民, 王军. 基于环境库兹涅茨曲线的陕西省环境质量与经济发展研究[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2018, 27(5): 6-11.
- [12] 王菲, 杨雪, 田阳, 王思鹏. 基于 EKC 假说的碳排放与经济增长关系实证研究[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 19-23.
- [13] 黄慧星. 基于库兹涅茨曲线理论的武汉市水环境实证研究[J]. 价值工程, 2019, 5(1): 261-264.