

重庆市经济发展与工业污染关系研究

——基于环境库兹涅茨曲线

杨青如, 谢雪颖, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门
Email: 1162558577@qq.com, xxyxiexueying@163.com

收稿日期: 2021年5月14日; 录用日期: 2021年5月31日; 发布日期: 2021年6月16日

摘要

党的十九大以来, 推动高质量发展已成为新时代我国发展的基本特征和战略任务。重庆作为中西部唯一的直辖市, 研究重庆市高质量发展有着重要的意义和价值。而经济增长与环境质量的协调程度是评估经济增长质量的重要一环, 本文借助Python中的切比雪夫多项式进行拟合, 基于环境库兹涅茨曲线, 对重庆市1990~2019年的人均GDP与环境质量中的工业废水排放量、工业废气排放量和工业固废排放量的相关指标数据进行研究, 通过预测分析未来重庆工业污染排放量, 希望能对重庆市的经济发展规划 and 环境保护提供一些决策参考信息。

关键词

工业污染, 经济发展, 人均GDP, 环境库兹涅茨曲线, 切比雪夫多项式

Study on the Relationship between Economic Development and Industrial Pollution in Chongqing

—Based on Environmental Kuznets Curve

Qingru Yang, Xueying Xie, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian
Email: 1162558577@qq.com, xxyxiexueying@163.com

Received: May 14th, 2021; accepted: May 31st, 2021; published: Jun. 16th, 2021

Abstract

Since the 19th National Congress of the CPC, promoting high-quality development has become the

basic feature and strategic task of China's development in the new era. As the only municipality directly under the central and western regions, it is of great significance and value to study the high-quality development of Chongqing. The degree of coordination between economic growth and environmental quality is an important link in evaluating the quality of economic growth. This paper is based on the Environmental Kuznets Curve, which is fitted by the Chebyshev polynomials in Python, this paper studies the per capita GDP of Chongqing from 1990 to 2019 and the related index data of the industrial waste water discharge, the industrial waste gas discharge and the industrial solid waste discharge in the environmental quality. It is hoped to provide some decision-making reference information for Chongqing's economic development planning and environmental protection.

Keywords

Industrial Pollution, Economic Development, GDP per Capita, Environment Simon Kuznets Curve, Chebyshev Polynomials

Copyright © 2021 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

改革开放以来,中国的经济取得了飞速发展,但是也付出了巨大的环境代价,环境污染日益严重。党的十七大明确提出了“建设资源节约型、环境友好型社会,实现速度和结构、质量、效益相统一、经济发展与人口、资源、环境相协调”的经济发展战略要求。2009年初,国务院出台《关于推进重庆市统筹城乡改革和发展的若干意见》提出了加快推进重庆环境保护和资源节约、着力构建长江上游生态屏障的总体要求。减少污染排放,建立循环生产模式,改善人们生产、生活环境刻不容缓。

工业污染是制约环境问题的主要因素,在人类发展过程中,工业增长是社会和技术进步的重要标志,同时也是造成环境污染的主要原因。中国工业经济高速发展伴随的工业污染防治一直是环境保护工作的重点和关键,有效地控制工业污染是中国乃至全球经济可持续发展的重点,对于老工业城市重庆来说,工业对于城市经济发展和环境保护更具有重要的意义。近年来随着经济的发展,科技的进步以及工业化进程的加快,伴随而来的工业三废对环境造成了严重的污染。因此,降低工业污染的排放是改善重庆城市环境质量的关键。

在重庆老工业基地重新崛起的战略背景下,对工业污染的相关分析和预测具有重要的理论和实践意义。通过分析影响重庆市工业污染的主要因素和未来重庆工业污染排放量,不仅能够降低工业污染的排放量,还能够为重庆工业污染的规划和控制提供决策信息,在一定程度上改善重庆的环境现状[1]。

2. 文献综述

关于经济增长与环境污染的关系,国内外已经有大量的研究。研究发现,经济增长的参数(如人均GDP等)与环境质量的一些衡量指标(如某类污染物的排放量等)之间存在着“倒U型”关系,类似于Kuznets的关于经济增长与收入之间的关系,故被称为“环境库兹涅茨曲线”(Environmental Kuznets Curve,简称EKC)。最早由Grossman和Kreuger于1995提出[2]。国内关于这方面的研究也日渐增多。

在国内,张晓(1999)[3]、李瑞娥(2008)[4]和包群(2005)[5]分别对中国1985~1995年、1981~2004年、1996~2002年的面板数据进行了实证分析,分析结果显示,中国经济增长与环境质量的某些指标之间确

实存在着“倒U型”曲线关系，只是由于分析方法、年限选取以及污染指标的选取不同，所呈现的库兹涅茨曲线特征存在强弱之分。

在省、市、地方范围内的经济发展与环境质量之间的研究则更是数不胜数，为当地的经济与生态环境协调发展做出相应的贡献。李治国和周德田(2013) [6]通过选取山东省 1981~2009 年的数据，建立经济增长和环境污染的 VAR 模型，发现经济增长与环境污染的库兹涅茨“倒U型”曲线是否存在取决于地区的数据和衡量环境污染水平指标的不同；许清涛、高标和房骄(2013) [7]采用吉林省 1981~2010 年的指标数据，建立相关计量模型进行实证研究，结果表明吉林省的 EKC 形状不完全符合典型的“倒U型”特征；高宏霞、杨林和王节(2012) [8]利用 2000~2010 年的数据对环境库兹涅茨曲线(EKC)进行实证分析，结果发现“倒U型”的 EKC 确实存在，并且很多省(自治区、直辖市)拐点的到来时间是在 2020 年之后；当然也有仅仅考虑经济增长的环境污染的某一方面的研究，如朱悦(2014) [9]利用 1999~2010 年的经济与环境数据，研究辽宁省环渤海地区经济增长与水环境污染之间相关性，实证表明库兹涅茨曲线表现并不是典型的倒“U”型，呈现出“N”“U”，甚至线性。综上可知，经济增长与环境污染之间存在长期的均衡关系，但关于环境污染对经济增长的影响研究却相对缺乏。本文通过利用重庆市 1990~2019 年的人均 GDP 与环境质量中的工业废水排放量、工业废气排放量和工业固废排放量相关指标数据，建立环境库兹涅茨曲线(EKC)对环境污染与经济发展问题进行研究，采用 Python 中的切比雪夫模型进行拟合，探究基于生态文明视角下，重庆市经济增长与环境质量之间动态变化关系[10]。

3. 数据来源及研究方法

3.1. 数据来源

根据科学性、规范性原则进行指标选取，经济指标“人均 GDP”这一相对指标，反映重庆市的经济发展水平。重庆市污染源主要为工业污染，则选取“工业废水、工业废气、工业固废排放量”作为环境指标，反映重庆市工业污染水平。研究时间尺度为 1990~2025 年，数据来源为《重庆市环境统计年鉴》、《重庆市统计年鉴》。

3.2. 研究方法

环境库兹涅茨曲线(EKC)常用于研究碳排放量问题，对碳排放量与人均 GDP 的关系进行分析。由于无论是碳排放量还是工业三废，都是衡量环境污染情况的指标，因此，本文尝试将环境库兹涅茨曲线(EKC)运用于工业废水、工业废气以及固体废弃物排放量的研究上，以探究在 EKC 曲线模型下工业三废和经济增长间的关系。

因此，本文在 Python 软件的技术支持下，采用切比雪夫多项式模型进行人均实际 GDP 值的预测，并以此为自变量，分别以废水排放量、废气排放量和固体污染物生产量为因变量，采用库兹涅茨(EKC)模型，进行经济增长与环境质量关系的预测和拟合，下文将对我们采用的两种研究方法的运行原理进行阐述。

3.2.1. 切比雪夫多项式

切比雪夫(Chebyshev)多项式是一种特殊的多项式，它来源于三角函数的正弦与余弦函数，这类函数的定义域和值域都在 $[-1, 1]$ 之间，正因为此，切比雪夫(Chebyshev)多项式相比于普通的高阶多项式有许多优秀的性质，例如，与泰勒展式一样，任何一个函数都可以表示为切比雪夫(Chebyshev)多项式的线性组合，切比雪夫多项式展开之后，就可以再转化为普通多项式，切比雪夫多项式的根比一般多项式的根具有更好的均匀性分布特性，且当阶数逐渐增高时，切比雪夫多项式的收敛性是最好的，其拟合精度也比一般情况下的多项式的精度更高[11]。

具体来说，切比雪夫(Chebyshev)多项式是如下微分方程的解：

$$T_{n+1}(X) = 2XT_n(X) - T_{n-1}(X), n \geq 1 \tag{1}$$

Chebyshev 基本多项式为：

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

$$T_1(X) = x + 1 \tag{3}$$

$$T_2(X) = 2x^2 - 1 \tag{4}$$

$$T_3(X) = 4x^3 - 3x \tag{5}$$

$$T_4(X) = 8x^4 - 8x^2 + 1 \tag{6}$$

多项式表达式为：

$$F(x) = a_0T_0 + a_1T_1 + a_2T_2 + \dots + a_{n+1}T_{n+1} \tag{7}$$

应用切比雪夫多项式时，要将实际自变量时间进行转换，符合切比雪夫多项式定义域[-1, 1]，本文是对重庆市 1990 年~2025 年的人均实际 GDP 值进行预测，因此实际自变量定义域转变为公式如下：

$$\frac{t-1990}{2025-1990} = \frac{x-(-1)}{1-(-1)} \tag{8}$$

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. 环境库兹涅茨曲线

环境库兹涅茨曲线(EKC)是诺贝尔奖获得者库兹涅茨研究发现的，最开始发现时就被广泛的应用，在这一理论的后续应用中，人们发现经济与环境之间的关系也符合库兹涅茨曲线的规律，即当一个国家的经济水平较低的时候，环境污染会随着经济水平的增加而严重，当经济发展到一定水平的时候会出现拐点，随着经济水平的持续提高，环境污染也会相应的降低。

但是，库兹涅茨曲线的形态并不总是保持为经典的倒“U”型，由于区域经济发展水平不同，不同地区往往有不同的表现形式。众多的研究中也出现过“N型”、“倒N型”、“U型”、线型等不同形式。最具有代表性的，也是使用最为广泛的的 EKC 模型为二次型和三次型，公式如下：

二次型：

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_t + \alpha_2 X_t^2 + \delta_t \tag{9}$$

三次型：

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_t + \alpha_2 X_t^2 + \alpha_3 X_t^3 + \delta_t \tag{10}$$

根据 EKC 模型的回归结果，可以判定曲线的形状，判定依据如下表 1 所示：

Table 1. EKC model result judgment table

表 1. EKC 模型结果判断表

序号	形状	α_1	α_2	α_3
1	倒 U 形	$\alpha_1 > 0$	$\alpha_2 < 0$	$\alpha_3 = 0$
2	单调递增	$\alpha_1 > 0$	$\alpha_2 = 0$	$\alpha_3 = 0$

Continued

3	单调递减	$\alpha_1 < 0$	$\alpha_2 = 0$	$\alpha_3 = 0$
4	U形	$\alpha_1 < 0$	$\alpha_2 > 0$	$\alpha_3 = 0$
5	水平线	$\alpha_1 = 0$	$\alpha_2 = 0$	$\alpha_3 = 0$
6	倒N形	$\alpha_1 < 0$	$\alpha_2 > 0$	$\alpha_3 < 0$
7	N形	$\alpha_1 > 0$	$\alpha_2 < 0$	$\alpha_3 > 0$
8	倒U形 + U形	$\alpha_1 < 0$	$\alpha_2 < 0$	$\alpha_3 > 0$

计算 EKC 曲线的拐点可以对模型进行求导, 令倒数等于 0 求得, 以二次型为例。

公式(9)的导函数:

$$Y' = \alpha_1 + 2\alpha_2 X_t \quad (11)$$

令公式(3) = 0

得拐点公式为:

$$X_t = -\frac{\alpha_1}{2\alpha_2} \quad (12)$$

拐点的意义可以表示为: 随着经济增长到一定水平环境质量出现转折的峰值, 在转折点两侧因变量 Y 会随着自变量 X_t 的变化而变化, 呈现同增同减或者同增异减的现象。

在本文公式应用中: X_t 表示人均实际 GDP 值, 变量 Y 一般为环境质量指标或者污染物排放量等, 本文根据重庆市环境质量指标的可获得性, 选取三个环境质量指标, 分别为工业废水排放总量(Y_{1t}), 工业废气排放总量(Y_{2t}), 工业固体废物排放总量(Y_{3t}), 根据数据拟合结果与实际值比较, 本文工业废气排选择二次型, 工业废水和工业固体废物选择三次型 EKC 模型, 设定如下:

$$Y_{1t} = \alpha_1 X_t + \alpha_2 X_t^2 + \alpha_3 X_t^3 + \delta_t \quad (13)$$

$$Y_{2t} = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + \delta_t \quad (14)$$

$$Y_{3t} = \gamma_0 + \gamma_1 X_t + \gamma_2 X_t^2 + \gamma_3 X_t^3 + \delta_t \quad (15)$$

4. 拟合结果

4.1. 人均 GDP 预测模型

采用二次切比雪夫多项式的预测模型对人均 GDP 进行预测, R^2 的值为 0.989, 拟合度很高, 相关性很好, 回归方程为:

$$Y = 36426.81 + 49728.57x + 18306.62x^2 \quad (16)$$

采用切比雪夫多项式预测人均 GDP 的数值如图 1:

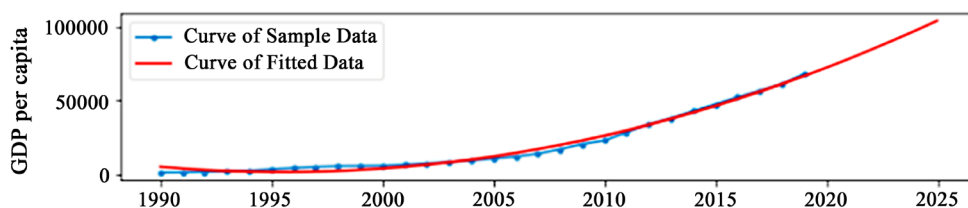


Figure 1. Forecast result of per capita GDP in Chongqing

图 1. 重庆市人均 GDP 预测结果

4.2. 环境污染指数与人均 GDP 拟合结果

如表 2 所示, 根据 R^2 值得知各个环境污染指标与人均 GDP 的模型拟合效果最好的是工业废气排放量, 工业废气的模型为倒 U 形, 工业废水和固体废物的模型为 N 形。模型的拐点则是曲线趋势发生改变时人均 GDP 的值。

Table 2. Fitting result of environmental pollution index and per capita GDP

表 2. 环境污染指数与人均 GDP 拟合结果

指标	工业废水排放量	工业废气排放量	工业固体废物排放量
α_0	18.35	2663	0.04158
α_1	0.0008323	1.225	1.203e-06
α_2	-4.338e-08	-1.213e-05	-9.121e-11
α_3	4.301e-13	-	9.72e-16
R^2	0.6569	0.8424	0.5658
拐点	11,589.9762/55,657.1889	50,495.50	7490.3641/55,064.7986
曲线形状	N 型	倒 U 形	N 型

4.2.1. 工业废水排放量方程拟合

如图 2 所示, 工业废水排放量的拟合图形呈 N 形。模型 R^2 值为 0.6569, 相关性和拟合度均比较好, 模型的拐点为 11,589.9762 和 55,657.1889, 说明在人均 GDP 为 11,589.9762 和 55,657.1889 元时, 工业废水的排放量趋势发生变化。如图 2 所示 2005~2006 年为第一个拐点, 结合实际数据可看出, 在此之后工业废水的排放量有所控制, 可能是经济发展及技术进步等因素带来的积极影响。但在 2016~2017 年, 第二个拐点出现, 济南的工业废水的排放量趋势完全相反, 有可能在此之后出现反弹。但由于模型拟合度较低, 而且重庆市也逐步调整其产业结构, 将污染高的重工业移除, 以及第三产业的繁荣发展, 所以按照实际情况来说, 即使出现反弹, 也可能不会迅速急剧的上升。

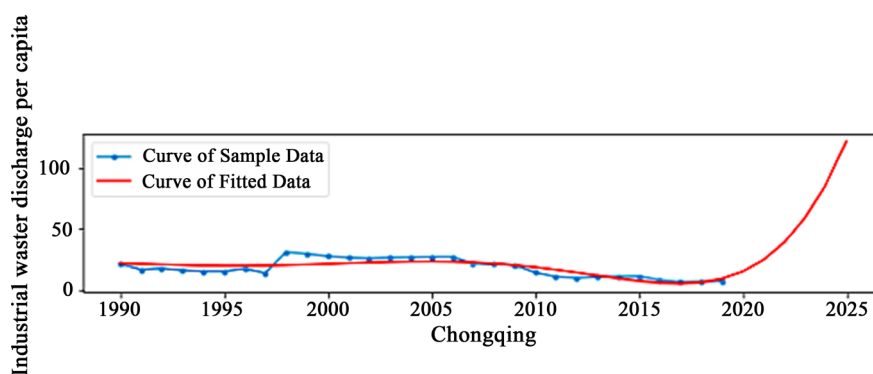


Figure 2. Fitting result of industrial wastewater discharge in Chongqing

图 2. 重庆市工业废水排放量拟合结果

4.2.2. 工业废气排放量方程拟合

如图 3 所示, 工业废气排放量的拟合图形呈倒 U 形。模型 R^2 值为 0.7042, 相关性和拟合度均比较好, 模型的拐点为 50,495.50, 说明在人均 GDP 为 50,495.50 元时, 工业废气的排放量达到最大值。从 1990

年至 2025 年，济南市工业废水排放趋势先上升后下降，工业废水排放量大约在 2015~2016 年到达峰值，随后呈下降趋势，说明济南市工业废水治理颇有成效。

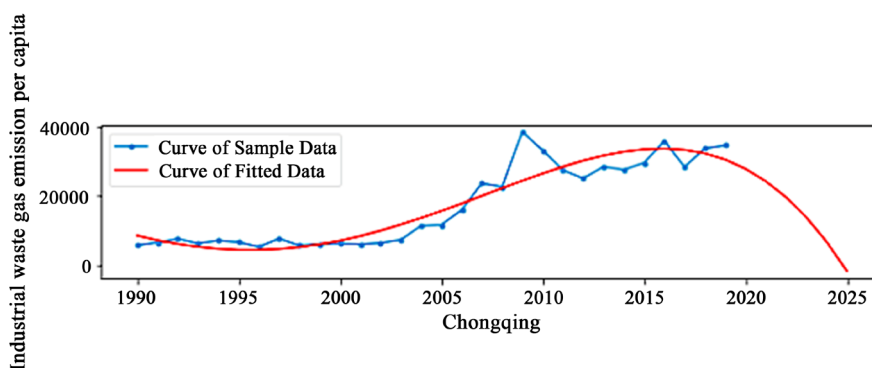


Figure 3. Fitting results of industrial exhaust gas emission in Chongqing

图 3. 重庆市工业废气排放量拟合结果

4.2.3. 工业固体废物排放量方程拟合

如图 4 所示，工业固体废物排放量的拟合图形呈 N 形。模型 R^2 值为 0.5658，相关性和拟合度均比较一般，模型的拐点为 7490.3641 和 55,064.7986，说明在人均 GDP 为 7490.3641 和 55,064.7986 元时，工业固体废物的排放量趋势发生变化。如图 4 所示 2002~2003 年为第一个拐点，结合实际数据可看出，在此之后工业废固体废物的排放量有所下降。根据预测，第二个拐点出现在 2015~2015 年，之后工业固体废物的排放量会触底反弹，快速增长。结合实际数据，重庆市 2017 年固体废物排放量为 0，之后出现反弹的可能性较大，但参考重庆市之前的较好控制，或许不会出现快速且大幅度的增长。

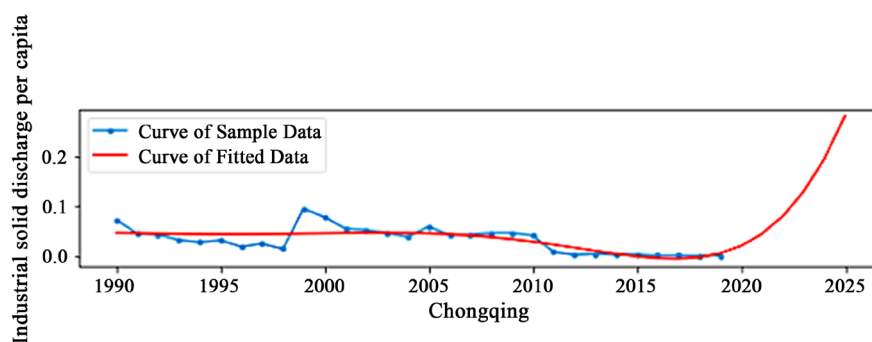


Figure 4. Fitting results of industrial solid waste discharge in Chongqing

图 4. 重庆市工业固体废物排放量拟合结果

5. 总结

根据以上对重庆市经济增长与工业三废排放量关系的分析，可以得出工业废水和工业固体废弃物的排放量与经济增长的关系呈 N 型，工业废气的排放量与经济增长的关系呈倒 U 型。根据二者之间的响应曲线拐点分析，可以得出，整体上经济的增长会带来污染物排放量的增加，污染物排放量的增长在一定程度上也会反作用于经济增长。

对重庆市来说，应当通过分析污染物排放量开始抑制经济增长的拐点，及时制定相关措施，如进行产业结构与能源结构的优化、加大环保投资力度与环保技术研发，完善污染治理与监督系统等多种方法与手段，以引导经济增长与环境保护的和谐发展。

本文的不足之处在于主要选取了工业废水、工业废气和工业固体废物作为环境污染水平的指标,未考虑影响工业污染水平的其他指标,如工业粉尘、工业 SO₂、工业 COD 排放量等,在某种程度上影响了模型的解释力;后续,分析影响环境库兹涅茨曲线变化的多方面因素是本研究继续探索的方向。

致 谢

最后,我们小组由衷地感谢在论文写作过程中的帮助我们的每一位,特别是厦门国家会计学院信息管理处处长阎虎勤老师。阎老师在《Python 财务数据分析》课堂上教会了我们如何使用 Python 中的切比雪夫多项式以及环境库兹涅茨 EKC 曲线,让我们掌握了新的数据分析方法。最后,我还要感谢在我写作过程中一直鼓励和支持我的家人和朋友们,正是他们的陪伴和关心,给予了我奋发向上的动力和克服困难的支撑,为我并不完善的研究内容提出许多有价值的宝贵建议。

基金项目

本论文得到了厦门国家会计学院“云顶课题:Python 财务数据分析”项目和大米(厦门)科技股份有限公司的支持。

参考文献

- [1] 张玲. 重庆市工业污染影响因素及趋势预测研究——基于灰色系统理论分析[J]. 经济界, 2012(3): 56-61.
- [2] Grossman, G.M. and Krueger, A. (1995) Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, **110**, 353-373. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- [3] 张晓. 中国环境政策的总体评价[J]. 中国社会科学, 1999(3): 89-92.
- [4] 李瑞娥, 张海军. 中国环境库兹涅茨曲线的变化特征(1981-2004) [J]. 西安交通大学学报, 2008, 28(4): 35-43.
- [5] 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): 48-52.
- [6] 李治国, 周德田. 基于 VAR 模型的经济增长与环境污染关系实证分析——以山东省为例[J]. 企业经济, 2013(8): 11-16.
- [7] 许清涛, 高标, 房骄. 吉林省经济增长与环境污染水平演进关系的实证研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 258-263.
- [8] 高宏霞, 杨林, 王节. 经济增长与环境污染关系的研究——基于环境库兹涅茨曲线的实证分析[J]. 云南财经大学学报, 2012(2): 70-77.
- [9] 朱悦. 辽宁省环渤海地区经济增长与水环境污染水平计量模型研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 65-68.
- [10] 邱爽, 张燕. 重庆市经济与环境协调发展的实证分析[J]. 西华师范大学学报(哲学社会科学版), 2014(6): 96-101.
- [11] 阎虎勤. Python 财务数据分析讲义[M]. 厦门: 厦门国家会计学院, 2020.