

Decision Analysis of Regional Comprehensive Environmental Governance Based on Stepwise Regression —Take Jiangsu Province as an Example

Zhengyang Cao¹, Peng Liu², Aling Song¹, Haifeng Liu^{1*}

¹Basic Department, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

²School of Automation, Southeast University, Nanjing Jiangsu

Email: *hfliu1962@sina.com

Received: Aug. 14th, 2019; accepted: Aug. 29th, 2019; published: Sep. 5th, 2019

Abstract

The study on the relationship between economic development and environmental governance is of great theoretical significance and practical demand. In this paper, based on the weight of the entropy weight method, the stepwise linear regression method is used to construct the evaluation model of the relationship between economic development, environmental protection investment, and environmental pollution. Furthermore, this paper focuses on 18 indexes relating to these three factors to quantitatively evaluate the relationship between them. These conclusions are drawn from relevant data obtained from Jiangsu Province over the past 21 years. Likewise, this paper also evaluates the linear expression of these three indexes, and the influence on economic development is therefore also obtained. Finally, on the basis of verifying the effectiveness of the model, this paper puts forth several suggestions on the relationship between economic development and environmental governance.

Keywords

Stepwise Linear Regression, Economic Development, Comprehensive Ecological Improvement, Industrial Sewage Discharge, Environmental Protection Investment

基于逐步回归的区域综合环境治理决策分析 ——以江苏省为例

曹正洋¹, 刘 芑², 宋阿羚¹, 刘海峰^{1*}

*通讯作者。

¹解放军陆军工程大学基础部, 江苏 南京

²东南大学自动化学院, 江苏 南京

Email: hfliu1962@sina.com

收稿日期: 2019年8月14日; 录用日期: 2019年8月29日; 发布日期: 2019年9月5日

摘要

经济发展与环境治理的关系研究具有重要的理论意义与现实需求。本文首先在熵权法赋权的基础上, 使用逐步线性回归法构建经济发展、环保投资以及环境污染等关系的评估模型。其次针对涉及经济发展、环保投资以及工业污染的18项指标, 以江苏省近21年来相关数据为依据对三者关系进行量化评估, 得到对经济发展影响最重要的三项指标的线性关系表达式。最后在对模型的有效性进行验证的基础上, 针对经济发展与环境治理的关系提出相应的意见与建议。

关键词

逐步线性回归, 经济发展, 环境治理, 工业排污, 环保投资

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放至今的四十多年发展使得我国成为全球第二大经济体以及世界经济发展的引擎, 工业化、城镇化发展日新月异。与此同时, 我国一些主要的经济发达地区随着经济增速和工业化进程的加快, 环境资源污染问题也日益严重。经济增长与环境问题的相互关系研究引起学者的持续关注。符淼[1]等以陕西省为例基于环境库兹涅茨曲线(EKC)方法选取环境污染和生态环境指标进行绝对量、相对量的对比研究, 获得拟合优度较好的评估模型, 进而借助逐步回归方法确定环境质量的主要影响因素及各影响因素之间的相关度。Ekins P. [2]在其研究中发现, 环境破坏越来越严重的同时, 人们的收入和经济发展也在不断攀升。而在研究经济发展和环保投资增长关系时, Poul Schou [3]通过内生性增长模型的构建, 认为经济发展和环保投资存在着负相关亦可存在正相关。而 Euston & Liam [4]则认为二者存在正相关的关系。邵海清[5]采用灰色关联法计算两者间的相关度, 证实环保投资对经济增长有促进作用。一些学者运用统计方法也得出了相同的结论。雷社平[6]就用 1990 年到 2009 年中国环保投资和经济发展数据, 借助回归模型验证了环保投资对经济发展有拉动作用。

多元线性回归方法是目前经济环保关系评估方向研究领域中最常用的数理统计方法, 包括输入法、逐步法、向前法、后退法以及去除法等。游士兵[7]等认为逐步回归法多用于最优或最合适的回归模型的构建, 能更加深入地研究变量之间的相互关系, 可以解决多自变量模型中存在的多重共线性问题。在实践运用中该方法也被证明其预测的精准度较高。在确定指标评价方法方面, 冯智涛[8]等选取人均 GDP 等 8 项经济指标, 运用多种不同的权重赋值方法对京津冀地区的相关数据进行比对分析, 实验结果显示熵权法在数据评估方法中取得了较好的效果。

分析上述相关研究发现目前大部分研究的着力点是集中在经济发展、环保投资以及工业排污的关系研究,主体是三者之间的两两关系研究,少有将三者关系结合起来进行的研究。但实际上经济发展、环保投资和工业污染并不是相互独立、而是相互影响相互关联的。针对这一问题,本文首先在熵权法进行赋权的基础上,使用更加适合经济发展、环保投资以及环境污染等多自变量的数据逐步回归法构建评估模型,消除多重共线性带来的影响,以探索经济发展、环保投资和工业排污三者间有着怎样的数量关系;随后以江苏省 1996 年至 2016 年的相关数据进行试验分析,验证了本文提出的评估方法的有效性。最后基于试验结果为江苏省的工业排污和环境治理投资提供相关的改进建议。

2. 基于逐步线性回归的经济发展综合评估模型构建及应用

2.1. 线性回归分析数据统计模型构建

逐步回归法是多元线性回归中的一种方法。多元线性回归模型如下:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

其中, y 表示因变量, $x_i, i=1, 2, \dots, n$ 表示自变量, $\beta_i, i=1, 2, \dots, n$ 表示回归系数, ε 表示修正因子, $E(\varepsilon) = 0$ 。

当数据呈现单因变量,多自变量的时候,由于自变量的维数较多,而人们无法根据日常经验和直观数据观察分析出哪些自变量更加重要,与因变量更可能具有线性关系时,则采用逐步回归的方法进行回归拟合。一般默认的回归方法是输入法,即将所有的自变量全部纳入回归模型中进行拟合,但是如果自变量维数较多,容易产生多重性共线性出现伪回归的情况。

逐步回归是先因变量对每一个自变量做一个回归拟合,之后以贡献最大的自变量所得到的关系式为基础,逐次将其他的每一个自变量引进来,观察其贡献度。同时对每一次引入进行 F 检验和 T 检验。

F 检验。提出假设 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$, (其中至少有一个 $\beta_j \neq 0$)

H_1 : 至少有一个 β_i 不等于 0, $i=1, 2, \dots, k$

对一元线性回归,假设为:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

$$\text{计算检验统计量 } F: F = \frac{ESS/k}{RSS/(n-k-1)} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2/k}{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2/(n-k-1)}$$

其中, n 为样本容量, k 为模型中解释变量的个数。 F 统计量服从自由度为 $(n-k-1)$ 的 F 分布,选择一个显著性水平 α ,查 F 分布表可以得到一个临界值 $F_\alpha = (k, n-k-1)$,若 $F > F_\alpha = (k, n-k-1)$,则表明模型通过显著性检验。

再进行 T 检验,先提出假设

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

$$\text{然后计算检验的统计量 } T: t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{S(\hat{\beta}_i)}$$

该统计量服从自由度为 $(n-k-1)$ 的 t 分布,即

$$t \sim t(n-k-1)$$

其中, β_i 为总体回归系数, $\hat{\beta}_i$ 为相应的参数估计量, $S_{\hat{\beta}_i}$ 为参数估计量 $\hat{\beta}_i$ 的标准差。选定一个显著性水平 α ,结合自由度 $(n-k-1)$,由 t 分布表,查的临界值 $t_{\frac{\alpha}{2}}(n-k-1)$,若 $|t| > t_{\frac{\alpha}{2}}(n-k-1)$,则表明通过显

著性检验。

如果引入的变量未能通过显著性检验，则将其剔除。最后，经过反复多次的拟合，将没有严重多重共线性且贡献率高的变量保留下来，得到最后的回归方程，以保证获得结果最优的关系式。

2.2. 江苏省经济发展及环保投资数据统计

2.2.1. 数据来源及处理

本文用于衡量经济发展、环保投资以及工业污染的 18 项指标数据，由《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《江苏省统计年鉴》(1996 年~2016 年)以及国家统计局地区分省年度数据统计查询系统综合查询整理而得。

2.2.2. 江苏省经济与环保数据概况统计

自古以来江苏就是就是我国的经济发达、繁荣昌盛之地。江苏省的经济发展一直是我国的模范地区，其产业结构从一开始的纺织服装业也就是轻工业到重工业、制造业再到近几年，向服务业和 IT 信息行业转型。自 1996 年以来近 20 多年江苏省的经济发展重心一直在重工业上，在拉动经济发展的同时，对环境造成的影响也日益严重。其中，2008 年和 2010 年第二产业的生产总值增速分别高达 17% 和 15.6%，其第二产业占当年的江苏省全省 GDP 生产总值为别为跟 53.9% 和 51.3%。从图 1、图 2 及图 3 不难看出第二产业在江苏省的经济发展中一直占着半壁江山。

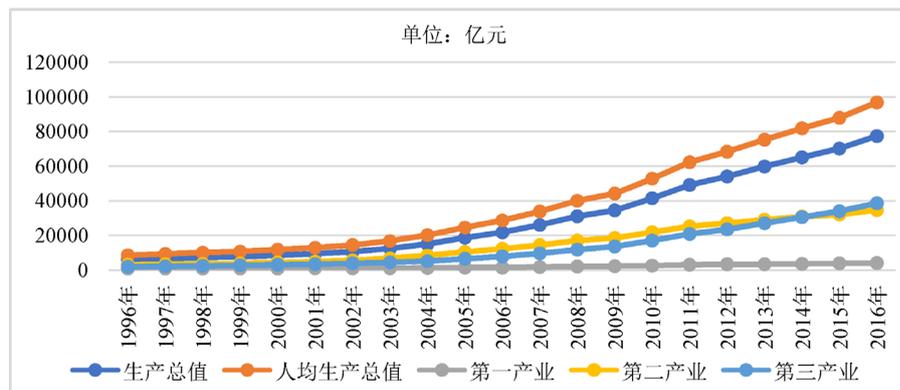


Figure 1. Financial data of Jiangsu province 1996~2016

图 1. 1996~2016 年江苏省 5 项经济数据统计

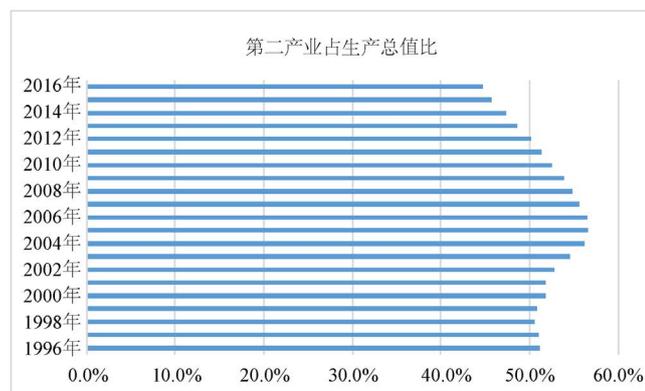


Figure 2. The proportion of secondary industry

图 2. 第二产业占生产总值数据



Figure 3. The investment of infrastructure construction
图 3. 城镇基础设施建设投资数据

江苏省不仅是中国的经济大省，其一直以来也是环保投资来源大省之一，环保投资目前正处于转型期。从图 4 中可以发现江苏省环境投资总额自 1996 年来呈现增长趋势。其中 1997 年、2002 年、2005 年、2008 年、2010 年、2013 年较上年环保投资总额分别增长 41.7%、23.3%、39.4%、24.4%、28.7%、33.7%，但自 2014 年开始环境投资总额的增速开始变慢。其中城镇基础设施建设投资每年都远远大于工业污染治理投资，2015 年的城镇基建投资更是工业污染治理投资的近 7 倍。但从数据图 4 中可以发现江苏省在环保投资的结构上，多是以城镇基础设施建设为主，工业污染治理投资力度则大不如城镇基建投资，其中“工业三废”中对于工业废弃固体治理的投资则明显少于工业废弃治理投资和工业废水治理投资。

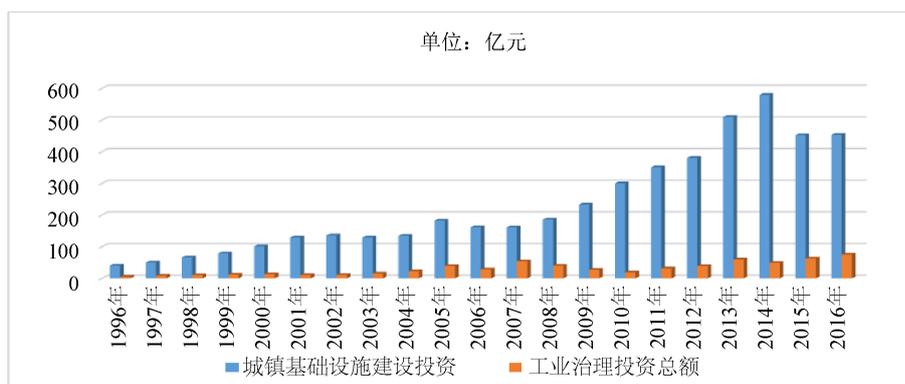


Figure 4. The investment of infrastructure construction and Industrial governance
图 4. 城镇基建投资与工业治理投资数据对比

在工业排污方面，分析表 1 可以发现工业二氧化硫的排放量自 1996 年开始到 2006 年呈增长趋势，从 2006 年开始到 2016 年，其排放量开始逐年下降；工业废水的排放量则在 2010 年之前不平稳上升，2010 年开始呈现逐年下降的趋势；而工业废气排放量则是一直呈现逐年增多的走势，直到 2015 年开始初显下降。工业废弃固体排放量也是一直到 2015 年开始，才出现第一次下降趋势。可以看出，近年来江苏省的经济从工业向高科技行业和服务业的转型逐见成效，多年来环保投资对工业排污的效果开始逐步显现。

3. 经济发展、环保投资以及工业污染之关系评估——以江苏省为例

3.1. 经济发展与环境治理关系评估指标选取

本文旨在研究江苏省经济发展、环保投资以及工业污染三者之间的关系。参考文献[9]的评估指标选取[9]，本文选取江苏省年度生产总值、人均生产总值、第一产业生产总值、第二产业生产总值和第三产业生产总值 5 项数据作为衡量经济发展的指标；选取江苏省年度工业污染治理投资总额、废水治理项目

完成投资、废气治理项目投资、废弃固体治理项目投资、噪声治理项目投资总额、其他治理项目投资、城镇基础设施建设投资以及建设项目“三同时”完成投资 8 项数据作为衡量环保投资的指标；选取江苏省年度工业废气总排放量、工业废气总排放量、工业二氧化硫总排放量、工业烟尘及粉尘总排放量、工业废水总排放量以及工业废弃固体总排放量 5 项数据作为衡量工业污染的指标。以上 18 个指标均为江苏省 1996 年至 2016 年期间连续 21 年的年度数据。

Table 1. Data of Industrial governance

表 1. 工业排污数据统计

年份	工业废气排放量 (亿标立方米)	工业二氧化硫排放量 (万吨)	工业烟粉尘排放量 (万吨)	工业废水排 放量(万吨)	工业废弃固体排放量 (万吨)
1996 年	7451	104	72	219677	2891
1997 年	6563	100	51	175457	2556
1998 年	7318	122	106	198423	2887
1999 年	8343	94	88	201039	2907
2000 年	9078	114	63	201923	3038
2001 年	13344	109	68	271029	3553
2002 年	14286	106	60	263241	3796
2003 年	14633	118	82	247524	3894
2004 年	17818	118	77	263538	4673
2005 年	20197	137	78	296318	5757
2006 年	24881	124	43	287181	7195
2007 年	23585	116	64	268762	7354
2008 年	25245	107	54	259999	7724
2009 年	27432	101	49	256160	8027
2010 年	31213	100	49	263760	9063
2011 年	48183	105	53	246298	10475
2012 年	48623	99	44	236094	10224
2013 年	49797	94	50	220559	10856
2014 年	59653	95	76	204890	10925
2015 年	57883	84	65	206427	10701
2016 年	56778	57	47	179434	11648

3.2. 数据预处理

由于绿色发展和可持续发展等理念的兴起在中国起步较晚，因此环保投资中少部分的细分指标在早期的统计年鉴中未能完整体现。对于这部分残缺数据采用平均值的方法，用前后年的已有统计数据将年鉴中所缺失的个别年度残缺数据补齐，以保证数据的完整性和连续性。其中对于工业废弃排放中氮氧化合物的排放量，由于该项数据在 1996 年至 2016 年时间范围内缺失数据过多，因为在本文中不作为参考指标。

由于单项指标数据不能综合完整地体现经济发展、环保投资以及工业污染的综合表达，本文使用熵权法用各项指标分别对三者进行一个综合量化表示。

一组数据的信息熵为: $E_j = -(\ln n)^{-1} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln p_{ij}$, 其中 $P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$ 。

如果 $P_{ij} = 0$, 则定义 $\ln P_{ij} = 0$ 。

进而计算各个指标的信息熵 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_k$, 最后根据公式 $W_i = \frac{1-E_i}{k-\sum E_i}$ ($i=1, 2, \dots, k$) 计算出各个指标的权重。

由于各项指标的单位不同、数据数值差异较大, 因此先采用归一化的方法将所有指标进行标准化处理, 以消除量纲带来的影响。

假设给定了 k 个指标, X_1, X_2, \dots, X_k , 其中 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$ 。对各指标数据标准化后的值记为 Y_1, Y_2, \dots, Y_k , $Y_i = (Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{in})$, 其中 $Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}$ 。

其次, 将江苏省的 21 年处理后数据运用熵权法计算后分别得到如下关系式:

$$Y_1 = 0.193x_1 + 0.217x_2 + 0.202x_3 + 0.207x_4 + 0.181x_5 \quad (3.1)$$

其中 Y_1 代表综合工业污染, x_1 为工业废气总排放量, x_2 为工业二氧化硫排放总量, x_3 为工业烟粉尘排放总量, x_4 为工业废水排放总量, x_5 为工业废弃固体排放总量。

$$Y_2 = 0.136z_1 + 0.146z_2 + 0.129z_3 + 0.126z_4 + 0.129z_5 + 0.119z_6 + 0.13z_7 + 0.128z_8 \quad (3.2)$$

其中 Y_2 代表综合环保投资, z_1 为工业治理完成投资总额, z_2 为工业废水治理完成投资, z_3 为工业废气治理完成投资, z_4 为工业废弃固体治理完成投资, z_5 为工业噪声治理完成投资, z_6 为工业其他项目完成投资, z_7 为城镇基础设施建设投资, z_8 为建设项目“三同时”完成投资。

$$Y_3 = 0.201w_1 + 0.201w_2 + 0.197w_3 + 0.204w_4 + 0.197w_5 \quad (3.3)$$

其中, Y_3 代表综合经济发展, w_1 为生产总值、 w_2 为人均生产总值, w_3 为第一产业生产总值, w_4 为第二产业生产总值, w_5 为第三产业生产总值。

最后, 再将原始的各项指标数据带入到上述(3.1)式、(3.2)式至(3.3)式中, 以经济发展数据为例得到 1996 年至 2016 年的经济发展综合数据如表 2 所示。

Table 2. Synthetical financial data of Jiangsu province 1996~2016

表 2. 江苏省 1996~2016 年经济发展综合数据表

	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年
经济发展 综合数据 (亿元)	4114	4567	4911	5241	5801	6388	7155
	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
	8383	10096	12413	14506	17259	20493	22739
	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
	27260	32242	35442	39130	42575	45814	50513

4. 基于多元逐步线性回归的江苏省经济发展环保治理关系分析

逐步线性回归法对于处理经济与环保关系问题具有较好的效果[9]。在经济发展、环保投资以及工业污染三大指标中无论选取哪一个作为因变量, 其他两个自变量都涉及一系列子指标数据。比如以经济发展为评估模型的因变量(函数), 则自变量之一的环保投资具体分为工业治理投资总额、废水治理项目完成投资、废气治理项目完成投资、废弃固体治理项目完成投资、噪声治理项目完成投资总额、其他治理项

目完成投资、城镇基础设施建设投资等指标。同样工业污染数据又涉及工业废气总排放量、工业废气总排放量、工业二氧化硫总排放量、工业烟尘及粉尘总排放量、工业废水总排放量以及工业废弃固体总排放量等。因此,为避免多重共线性并找出最重要的函数指标,本文采用逐步回归的方法对数据进行拟合。

4.1. 模型设计及实验结果分析

为验证环保投资和工业污染对当地的经济发展到有何影响,首先以江苏省经济发展综合指标作为因变量,环保投资中的 8 项指标以及工业污染中的 5 项指标总共 13 项指标作为自变量。这里不使用环保投资综合指标和工业污染的综合指标这两项数据作为自变量,是为了更好地探索哪些具体指标和经济发展有着怎样的关系。

将 1996 年至 2016 年的经济发展综合指标与其余 13 项指标导入到 SPSS23.0 中,首先为消除量纲影响,将以上数据进行 Z-score 标准化。本文设定经济发展因变量为 Y_3 , 自变量工业废气排放量为 x_1 , 工业二氧化硫排放量为 x_2 , 工业烟粉尘排放量为 x_3 , 工业废水排放量为 x_4 , 工业废弃固体排放量为 x_5 , 工业污染治理投资额为 z_1 , 工业废水治理项目完成投资为 z_2 , 工业废弃治理项目完成投资为 z_3 , 工业废弃固体治理项目完成投资为 z_4 , 工业噪声治理项目完成投资为 z_5 , 其他治理项目完成投资为 z_6 , 城镇基础设施建设投资为 z_7 , 建设项目“三同时”完成投资为 z_8 , 相关数据统计如表 3 所示。

Table 3. Data of synthetically financial and industrial governance 1996-2016

表 3. 江苏省 1996~2016 年经济发展与环境治理数据统计

年份	经济发展	工业废气排放量	工业二氧化硫排放量	工业烟粉尘排放量	工业废水排放量	工业废弃固体排放量	工业治理投资总额	工业废水治理项目完成投资	工业废气治理项目完成投资	工业废弃治理项目完成投资	工业噪声治理项目完成投资	其他治理项目完成投资	城镇基础设施建设投资	建设项目“三同时”完成投资
1996年	-1.023	-1.069	-0.058	0.500	-0.477	-1.150	-1.225	-1.498	-1.034	-0.844	-0.610	-0.742	-1.162	-1.052
1997年	-0.994	-1.117	-0.301	-0.774	-1.726	-1.251	-1.059	-0.698	-1.028	-0.824	-0.098	-0.774	-1.103	-0.919
1998年	-0.971	-1.076	1.035	2.562	-1.078	-1.151	-0.972	-0.722	-0.938	-0.763	-0.098	-0.445	-1.002	-0.872
1999年	-0.950	-1.021	-0.665	1.470	-1.004	-1.145	-0.884	-0.722	-0.913	-0.723	-0.098	-0.149	-0.925	-0.836
2000年	-0.913	-0.981	0.549	-0.046	-0.979	-1.105	-0.816	-0.628	-0.765	0.408	0.757	-0.774	-0.787	-0.807
2001年	-0.875	-0.751	0.246	0.257	0.974	-0.948	-0.952	-1.122	-0.848	-0.339	-0.610	-0.412	-0.618	-0.787
2002年	-0.825	-0.700	0.064	-0.228	0.754	-0.874	-0.947	-0.769	-0.893	-0.622	-0.268	-0.643	-0.617	-0.759
2003年	-0.746	-0.681	0.792	1.106	0.310	-0.845	-0.718	-0.416	-0.682	-0.703	-1.123	-0.676	-0.582	-0.698
2004年	-0.634	-0.509	0.792	0.803	0.762	-0.608	-0.377	-0.225	-0.355	-0.117	1.098	-0.445	-0.576	-0.674
2005年	-0.484	-0.381	1.946	0.864	1.689	-0.279	0.443	-0.237	0.709	-0.763	2.123	-0.215	-0.419	-0.458
2006年	-0.348	-0.128	1.157	-1.259	1.430	0.158	-0.089	0.031	-0.003	-0.723	0.586	-0.445	-0.417	-0.286
2007年	-0.169	-0.198	0.671	0.014	0.910	0.207	1.164	1.419	1.099	1.275	-0.610	0.016	-0.289	-0.198
2008年	0.041	-0.108	0.124	-0.592	0.662	0.319	0.482	2.502	-0.054	1.457	1.440	-0.248	-0.268	-0.141
2009年	0.187	0.010	-0.240	-0.895	0.554	0.411	-0.133	1.255	-0.445	-0.521	-0.952	-0.281	0.022	0.186
2010年	0.481	0.214	-0.301	-0.895	0.769	0.726	-0.547	-0.416	-0.658	0.609	1.611	0.114	0.436	0.383
2011年	0.805	1.130	0.003	-0.653	0.275	1.155	0.057	0.784	-0.259	1.619	0.757	0.312	0.747	0.588
2012年	1.012	1.153	-0.361	-1.199	-0.013	1.079	0.447	-0.440	0.587	1.417	-1.123	0.411	0.930	0.966
2013年	1.252	1.217	-0.665	-0.835	-0.452	1.271	1.442	0.266	1.804	2.143	-0.952	-0.248	1.371	0.963
2014年	1.476	1.749	-0.604	0.742	-0.895	1.292	0.911	-0.355	1.336	-1.106	-0.610	-0.017	1.378	1.095
2015年	1.686	1.653	-1.272	0.075	-0.851	1.224	1.579	0.408	1.452	-0.440	0.244	2.682	1.727	1.605
2016年	1.992	1.593	-2.912	-1.017	-1.614	1.512	2.193	1.584	1.887	-0.440	-1.464	2.979	2.154	2.700

进而运用线性回归方法中的逐步回归方法运行数据，得到模型数据摘要如表 4 所示。

Table 4. Model summary

表 4. 模型摘要

模型	R	R 方	调整后的 R 方	标准估计的 误差	R 方变化量	F 变化量	自由度 1	自由度 2	显著性 F 变化量	德宾沃森
1	0.990	0.980	0.979	0.14453	0.980	938.360	1	19	0.00	
2	0.995	0.991	0.990	0.10202	0.010	20.133	1	18	0.00	
3	0.998	0.996	0.064	0.06496	0.006	27.396	1	17	0.00	1.866

模型 1: 城镇基础设施建设投资

模型 2: 城镇基础设施建设投资、工业废弃固体排放量

模型 3: 城镇基础设施建设投资、工业废弃固体排放量、工业废水排放量

因变量: 经济发展

分析上述数据可以发现当自变量逐一进入回归模型时，仅三个自变量符合要求被输入，即城镇基础设施建设投资、工业废弃固体排放量以及工业废水排放量。再结合表 4 调整后 R 方数据进行辅助判断，其中拟合度最高的为第 3 个模型，高达 99.6%。即表明经济发展与工业固体排放量、城镇基础设施建设投资以及工业废水排放总量线性相关。

德斌-沃森检验是自相关检验最常用的方法之一，当德斌 - 沃森的值接近 4 或者 0 时，则表示存在自相关性，而当德斌 - 沃森的值接近 2 时，则表示不存在自相关性。本文中该模型的德斌 - 沃森值为 1.866，表明模型不具有自相关性。

通过三个模型的 ANOVA 表(表 5)的数据看到，回归平方和为 19.928，残差为 0.072，总和为 20，可见该模型几乎完全反应了数据分布情况。

Table 5. The analysis of variance of model

表 5. 模型评估的 ANOVA 统计表

模型		平方和	自由度	均方	F	显著性
1	回归	19.603	1	19.603	938.360	0.000
	残差	0.397	19	0.021		
	总计	20.000				
2	回归	19.813	2	9.906	951.716	0.000
	残差	0.187	18	0.010		
	总计	20.000				
3	回归	19.928	3	6.643	1574.048	0.000
	残差	0.072	17	0.004		
	总计	20.000	20			

模型 1: 城镇基础设施建设投资

模型 2: 城镇基础设施建设投资、工业废弃固体排放量

模型 3: 城镇基础设施建设投资、工业废弃固体排放量、工业废水排放量

因变量: 经济发展

最后根据其系数数值表(表 6)。

Table 6. Data of correlation coefficient
表 6. 相关系数统计表

模型		未标准化系数		标准化系数	t	显著性	共线性统计	
		B	标准误差	Beta			容差	VIF
1	(常量)	0.000	0.032		0.000	1.000		
	城镇基础设施建设投资	0.990	0.032	0.990	30.633	0.000	1.000	1.000
2	(常量)	0.000	0.22		0.000	1.000		
	城镇基础设施建设投资	0.714	0.066	0.714	10.859	0.000	0.121	8.296
	工业废弃固体排放量	0.295	0.066	0.295	4.487	0.000	0.121	8.296
3	(常量)	0.000	0.014		0.000	1.000		
	城镇基础设施建设投资	0.537	0.054	0.537	9.979	0.000	0.073	13.707
	工业废弃固体排放量	0.460	0.052	0.460	8.778	0.000	0.077	13.027
	工业废水排放量	-0.098	0.019	-0.098	-5.234	0.000	0.605	1.652

得到如下经济发展与环保投资以及工业污染的线性关系式:

$$Y_3 = -0.098x_4 + 0.46x_5 + 0.537z_7 \quad (4.1)$$

其中 Y_3 为经济发展综合指标、 x_4 为工业废水排放总量、 x_5 为工业废弃固体排放总量， z_7 为城镇基础设施建设投资。

4.2. 模型设计有效性验证分析

分析评估指标共线性系数表(表 7)可以发现除了常数项显著性为 1，未通过 t 检验外，工业废气固体排放总量、城镇基础设计建设投资以及工业废水排放总量三项指标的 T 检验结果均远远小于 0.05，即全部通过显著性检验，拒绝原假设。

当 VIF 的值在 0 到 10 之间，则表明变量间不存在共线性；当 VIF 的值在 10 到 100 之间，则表明变量间存在较强的共线性；当 VIF 值大于 100 时，则表明变量间存在严重的共线性。分析表 6 可以看到模型中城镇基础设施建设投资的 VIF 值和工业废弃固体排放量 VIF 值略大于 10，而工业废水排放总量三的 VIF 值小于 10，再结合其共线性诊断表(表 7)表明变量间无明显多重共线性。

Table 7. Collinearity coefficient of evaluation indicator
表 7. 评估指标共线性系数表

模型	维	特征值	条件指标	方差比例			
				常量	城镇基础设施 建设投资	工业废弃固体 排放量	工业废水排放量
1	1	1.000	1.000	0.50	0.50		
	2	1.000	1.000	0.50	0.50		
2	1	1.938	1.000	0.00	0.03	0.03	
	2	1.000	1.392	1.00	0.00	0.00	
	3	0.062	5.581	0.00	0.97	0.97	
3	1	1.965	1.000	0.00	0.02	0.02	0.01
	2	1.000	1.402	1.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.998	1.403	0.00	0.00	0.00	0.57
	4	0.037	7.267	0.00	0.98	0.98	0.42

其残差统计结果如表 8 所示。

Table 8. Residuals statistics analysis

表 8. 残差统计表

	最小值	最大值	平均值	标准偏差	个案数
预测值	-1.1062257	2.0094218	-0.0000010	0.99820448	21
标准预测值	-1.108	2.013	0.000	1.000	21
预测值的标准误差	0.021	0.041	0.028	0.005	21
调整后预测值	-1.1209100	2.0209126	-0.0005512	0.99733222	21
残差	-0.11307256	0.11306958	0.00000000	0.05989276	21
标准残差	-1.741	1.741	0.000	0.922	21
学生化残差	-1.880	2.030	0.004	1.023	21
剔除残差	-0.13193513	0.15385012	0.00055023	0.07381625	21
学生化剔除残差	-2.050	2.263	0.009	1.085	21
马氏距离	1.204	6.907	2.857	1.540	21
库克距离	0.001	0.372	0.058	0.092	21
居中杠杆值	0.060	0.345	0.143	0.077	21

分析残差直方图(图 5)看到, 残差基本符合正态分布的曲线走向。

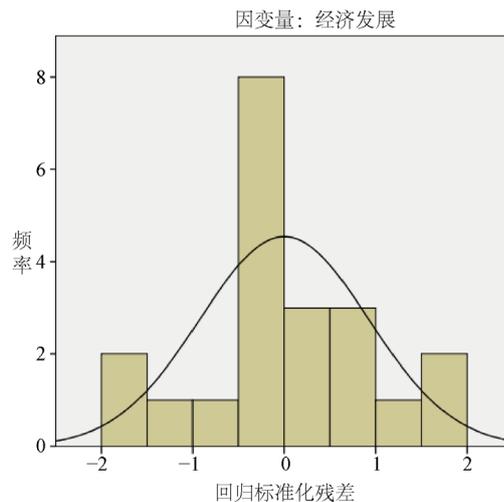


Figure 5. The graph of residuals

图 5. 数据残差统计图

5. 基于模型评估的结论与政策建议

通过逐步回归得到的经济发展与环保投资以及工业污染的关系式, 可以看出工业污染方面的工业废渣多来源于金属冶炼、煤炭钢材料工业等第二产业, 和经济发展成正相关。众所周知, 我国经济高速发展时期, 也正是从农业转型到工业第二产业的时期。煤炭、钢筋行业高速发展, 极大拉动了我国 GDP 的高速增长, 但在相应的环境保护政策制定以及落实上, 却没跟上排污的速度和经济增长的步伐。而工业废水的排放, 污染河流及居民生活, 造成许多庄稼死亡, 农作地荒废, 其影响速度和效果远大于固体废物。因此政府对于工业废水排污的治理力度一直以来大于工业固体废物, 投入大量资金进行整治, 并且

因为工业废水的排放对农业、畜牧业造成的损失累积，故其在经济发展关系式中的系数为负，与经济发展成负相关，但系数数值绝对值不高，仅 0.098，表明工业废水的排放虽然会带来经济增长，但是其造成的经济损失略大于带来的经济收益，也是符合实际情况。

其次，在环保投资方面，回归模型的结果中只有城镇基础设施建设投资与经济发展有线性关系。我们不难发现，环保投资中城镇基础设施建设投资的比例，一直占据环保投资的大头。近十年来，中国大搞基础设施建设——房地产以拉动中国的经济发展。而对于工业污染的投资治理，力度较小，落实较差，因此，城镇基础设施建设对经济发展有着拉动作用，符合实际情况。

值得注意的是，环保投资中，对于工业污染治理的投资，在关于经济发展的回归中未有明显的体现，一是由于对于工业污染治理的投资力度还不够大，二是由于工业污染治理的投资存在一定的滞后性，其治理的效果，以及对绿色经济增长的拉动，很难在短期内有所体现。城镇建设等投资对于经济增长的拉动见效较快。

在未来的几年里，环保投资应转变其投资结构，城镇基础设施建设已经接近饱和状态，而对于工业污染的治理，才是经济转型，保持可持续发展、绿色生产的重中之重。

首先，要调整环保投资的投资结构。将对城镇基础设施投资的重心转移到工业污染治理上，真正将资金用于环境的改善，而不是城镇的建设上，保持经济的健康增长。二是要加大对企业排污的纠察和惩罚力度，将政策落实在实际行动中。三是加大对企业排污净化设施的投资，工业排污治理，不能是“得病后吃药”，而是要做到“防患于未然”，尽可能地减少未达标污染物的排放，从源头上治理工业对环境的污染。四是要拓宽环保投资的渠道，目前大部分环保投资的资金来源于国家拨款。我们可以借鉴欧美一些在环保投资领域起步较早国家的经验，纳入企业民间的筹资，拓宽环保投资的资金来源，并且可以建立和完善环保投资以及工业污染排放的相关环境保护税收制度。除此之外，进行产业结构调整，缩小第二产业所占比重，用环境政策引导技术创新[10]。只有这样，才能保持健康的、绿色的经济模式，使经济具有可持续性。与此同时，也给我们每一个人，创造一个更加绿色、干净、健康的生态环境和生活环境。

基金项目

国家自然科学基金(71071161, 61273209), 江苏省自然科学基金(BK2012511)。

参考文献

- [1] 符淼, 黄灼明. 我国经济发展阶段和环境污染的库兹涅茨关系[J]. 中国工业经济, 2008(6): 35-43.
- [2] Ekins, P. (1997) The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence. *Environment and Planning*, **29**, 805-829. <https://doi.org/10.1068/a290805>
- [3] Schou, P. (2000) Polluting Non-Renewable Resources and Growth. *Environmental and Resource Economics*, **16**, 211-227.
- [4] Quah, E. and Boon, T.L. (2003) The Economic Cost of Particulate Air Pollution on Health in Singapore. *Journal of Asian Economics*, **14**, 73-90. [https://doi.org/10.1016/S1049-0078\(02\)00240-3](https://doi.org/10.1016/S1049-0078(02)00240-3)
- [5] 邵海清. 环保投资与国民经济增长的灰色关联分析[J]. 生产力研究, 2010(12): 14-15.
- [6] 雷社平, 何音音. 我国环保投资与经济增长的回归分析[J]. 西北工业大学学报(社会科学版), 2010, 30(2): 20-22.
- [7] 游士兵, 严研. 逐步回归分析法及其应用[J]. 统计与决策, 2017(14): 31-35.
- [8] 冯智涛, 张瑜, 姚靓, 宋雅婷, 潘晶. 县域经济评价指标的赋权方法研究——以京津冀城市群为例[J]. 科技经济市场, 2018(9): 52-56.
- [9] 钟志威. 环境污染与经济发展的关系[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2010.
- [10] 夏庆澍. 中国经济增长与环境污染关系的实证性研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2011.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2161-8801，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：csa@hanspub.org