

基于回归加权的环境治理绩效评价方法

唐新蓉¹, 赵培信², 吴昊^{2*}

¹重庆工商大学资产管理处, 重庆

²重庆工商大学数学与统计学院, 重庆

收稿日期: 2021年9月14日; 录用日期: 2021年9月28日; 发布日期: 2021年10月13日

摘要

利用回归分析法测度环境治理投入对环境质量输出指标的影响,并给出了各个环境质量指标对应的权重,进而提出了一种新的基于回归加权的环境治理绩效评价方法。与已有的熵值法及数据包络分析等综合评价方法相比,本文所提出的方法通过回归分析进行设定权重,既保证了环境治理中各种投入指标在评价中的地位 and 作用,又保证了权重的客观性。最后以重庆市为例,演示了本文所提出的方法在实际分析过程中的应用,并且对我国各省市2017年的环境治理效果进行了评价研究。

关键词

回归加权, 治理绩效, 环境治理, 权加指数

Environmental Governance Evaluation Method Based on Regression Weighting

Xinrong Tang¹, Peixin Zhao², Hao Wu^{2*}

¹Department of Asset Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing

²College of Mathematics and Statistics, Chongqing Technology and Business University, Chongqing

Received: Sep. 14th, 2021; accepted: Sep. 28th, 2021; published: Oct. 13th, 2021

Abstract

This paper uses regression analysis method to measure the influence of environmental governance input index on the output index of environmental pollution control, gives the corresponding weight of each output index, and then proposes a performance evaluation method of environmental pollution control based on regression weighting. Compared with the existing comprehensive

*通讯作者。

evaluation methods such as entropy method and data envelopment analysis, the method proposed in this paper sets the weight through regression analysis, which not only ensures the status and role of various input indicators in the evaluation of environmental governance, but also ensures the objectivity of the weight. Finally, taking Chongqing as an example, the paper demonstrates the application process of the proposed method in the practical analysis, and studies the environmental pollution control performance of the main provinces in 2017 of China.

Keywords

Regression Weighting, Governance Performance, Environmental Governance, Weighted Index

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

随着我国经济的快速发展和城市化程度的不断提高, 环境污染问题也日渐显现。环境污染问题与我们每个人的身体健康都息息相关, 所以环境污染问题是我们当前在追求经济发展进程中最急需解决的难题。党的十九大报告明确指出建设生态文明是中华民族永续发展的大计, 要像对待生命一样对待生态环境, 要实行最严格的生态环境保护制度。因此, 保护环境, 防止污染的任务迫在眉睫, 越来越多的学者对环境污染的影响因素、治理方法以及治理效果等方面均进行了相关研究。

近年来, 关于我国环境污染影响因素的分析已有大量文献进行研究。对于水污染影响因素的有关分析, Cai 等[1]基于相关性分析法重点研究了水污染与经济增长之间的关系。王芳[2]利用带面板数据的回归分析方法研究了居民消费模式对生活污水排放的影响。史芳等[3]利用 STIRPAT 模型对天津市水污染影响因素进行了分析, 发现技术创新可以改善水污染的加重。对于大气污染影响因素的有关分析, 张曙红和武鹏程[4]基于遗传神经网络模型以及灰色关联度方法对武汉市的空气质量影响因素进行了实证分析。李静萍、周景博[5]利用结构方程模型就工业化和城市化进程对空气质量的影响进行了研究分析。常思远[6]利用偏最小二乘回归方法对空气污染的影响因素进行了统计测度。另外, 对于环境污染影响因素的总体分析, 杨宝强[7]利用因子分析法对城市环境污染的影响因素进行了分析, 并指出工业废弃物和城市生活废弃物排放是导致城市环境污染的主要因素。郭四代等[8]基于空间计量模型对我国的环境污染影响因素进行了分析, 并指出工业污染排放已趋于较为稳定的状态, 而居民生活污染已成为区域污染的主要因素。

但是, 关于环境污染治理绩效评价方法的研究目前已有部分学者进行关注, 但相关论文不是太多, 相关研究还不系统和完善。王茜[9]采用数据包络分析和全要素生产率指数对山西省十一个地市的水污染治理效果做内部评价。孙丹璐[10]以江苏省为例, 探究环境金融对水污染治理效果的影响, 发现需加强环境金融在江苏省的作用, 健全环境投融资机制等。官永彬和赵思涵[11]利用熵权法对长江经济带环境治理绩效评价进行了研究。董战峰等[12]采用了熵权法测算了中国各省市环境绩效指数, 发现我国省级区域环境绩效表现出明显的地域性。

总体来看, 在环境污染治理绩效评价方法方面, 目前学者采用熵值法、综合指数法以及数据包络分析法等。但是熵值法和综合指数法主要是基于环境污染治理的输出指标进行综合评价, 并没有考虑环境治理投入指标的影响, 因此关于环境污染治理绩效评价往往缺乏一定的科学性和合理性。另外, 数据包络分析法虽然同时考虑到环境污染治理的投入指标和输出指标, 但是其主要思想是基于线性分段和径

向理论, 由于未将投入产出的松弛性问题纳入考虑范畴, 往往会导致绩效评价结果不够准确。众所周知, 不同的污染物在环境污染中的地位是不同的, 并且污染物之间往往具有较强的相关性。因此, 在环境污染治理绩效评价中, 如果对权重的设定不合理, 则往往会夸大或低估某些污染物在环境污染治理绩效评价中的作用。为此, 对不同的污染物合理地设定权重则可以科学地反映不同污染物在水污染治理绩效评价中的地位 and 作用, 从而保证环境污染治理绩效评价结果的科学性和有效性。

本文利用回归分析法测度环境污染治理投入指标对环境治理效果输出指标的影响, 并给出了各个环境治理输出指标对应的权重, 进而提出了一种基于回归加权的环境污染治理绩效评价方法。本文提出的治理绩效评价方法通过回归分析进行设定权重, 既保证了环境治理中各种投入指标在评价中的地位 and 作用, 又保证了权重的客观性。因此, 与已有的绩效评价方法相比, 本文提出的评价方法相对更具有合理性和科学性。在实际案例分析方面, 本文首先以重庆市为例, 演示了本文所提出的方法在重庆市环境污染治理绩效评价中的应用过程, 并分析了重庆近年来环境污染治理绩效的变化趋势。然后本文还利用所提出的评价方法对全国主要城市 2017 年的环境污染治理绩效进行了研究。

2. 基于回归加权的环境污染治理绩效指数

回归分析不但可以确定环境污染治理效果输出指标与治理投入指标之间的相关关系, 还可以确定二者之间数量关系的具体形式, 进而可以用于设定指标的权重。具体地, 记 X_1, X_2, \dots, X_K 为 K 个反映环境污染治理投入的输入指标, 记 Y_1, Y_2, \dots, Y_M 为 M 个反映环境污染治理效果的输出指标, 那么为了反映环境污染治理投入对环境污染治理效果的影响, 建立如下双对数线性回归模型

$$\ln Y_m = a_{km} + b_{km} \ln X_k + \varepsilon, \quad k=1, \dots, K, \quad m=1, \dots, M \quad (1)$$

其中回归系数 b_{km} 表示因变量 Y_m 对解释变量 X_k 的弹性系数, 反映了环境污染治理投入的第 k 种输入指标对反映环境污染治理效果第 m 种输出指标变化的影响效应。因此, $|b_{km}|$ 的大小可以衡量第 k 种环境污染治理投入指标对第 m 种环境污染治理效果指标的贡献程度, 进而可以作为确定相应指标权重的依据。

在计算环境污染治理绩效指数中, 记第 m 种环境污染治理效果输出指标对应的权重为 W_m , $m=1, 2, \dots, M$, 注意到 W_m 应取非负值, 并且满足 $\sum W_m = 1$, 因此, 结合上述讨论, 本文提出定义环境污染治理绩效指数如下:

第一步: 定义

$$B_m = \sum_{k=1}^K |b_{km}|, \quad m=1, 2, \dots, M$$

则 B_m 表示所有 K 种环境污染治理投入指标对第 m 种环境污染治理输出指标 Y_m 的总影响。

第二步: 定义

$$W_m = \frac{|B_m|}{\sum |B_m|}, \quad m=1, 2, \dots, M$$

则 W_m 表示对 B_m 的归一化处理。

第三步: 定义环境污染治理绩效指数(EGPI)

$$EGPI = \sum_{m=1}^M W_m \tilde{Y}_m \quad (2)$$

其中 \tilde{Y}_m 为第 m 种环境污染治理效果输出指标 Y_m 的标准化指标。在实际应用中对指标进行标准化的方法很多, 在本文中我们采用极差标准化方法。具体地, 如果 Y_m 为正向指标, 则 Y_m 的标准化公式定义如下:

$$\tilde{Y}_{mij} = \frac{Y_{mij} - \min_{ij} \{Y_{mij}\}}{\max_{ij} \{Y_{mij}\} - \min_{ij} \{Y_{mij}\}} \quad (3)$$

其中 Y_{mij} 表示第 m 种环境污染治理效果输出指标 Y_m 在 i 个省市第 j 年度的取值。如果 Y_m 为逆向指标, 则 Y_m 的标准化公式定义如下

$$\tilde{Y}_{mij} = \frac{\max_{ij} \{Y_{mij}\} - Y_{mij}}{\max_{ij} \{Y_{mij}\} - \min_{ij} \{Y_{mij}\}} \quad (4)$$

从环境污染治理绩效指数 $EGPI$ 的定义可知, 环境污染治理绩效指数的取值范围是区间 $[0,1]$, $EGPI$ 的取值越接近 0, 则环境污染治理效果越差, $EGPI$ 的取值越接近 1, 则环境污染治理效果越好。另外, 我们通过利用回归分析法设定各指标对应的权重可以客观有效地反映环境污染治理投入指标与环境污染治理效果之间的关系。

3. 实际案例分析

在参考大量相关文献以及综合考虑指标数据在选取上的科学性、综合性、易获得性等原则, 本文从环境污染治理投入的人力、财力两大方面, 分别选取了“水利、环境和公共设施管理业从业人数(X_1)”、“城镇水利、环境和公共设施管理业固定资产投资(X_2)”、“工业污染治理投资总额(X_3)”、“林业建设投资总额(X_4)”四个治理投入指标, 其中工业污染治理投资包括废水治理、废气治理、固体废物治理以及噪声治理等投资; 城镇环境基础设施建设包括城市燃气、集中供热、排水、市容建设等投资; 林业投资包括生态修复治理、林业草原服务、保障和公共管理等投资。另外, 在环境治理效果输出指标方面, 本文选取“工业固体废物综合利用量(Y_1)”、“生活垃圾无害化处理量(Y_2)”、“废水处理总量(Y_3)”、“废气二氧化硫排放量(Y_4)”来作为反映环境污染治理效果的四个产出指标。数据来源主要来自《中国环境统计年鉴》和《中国统计年鉴》。接下来, 我们首先以重庆市为例, 演示所提出的环境污染治理绩效评价方法在重庆市环境污染治理绩效评价中的应用, 并进一步分析重庆近几年来环境污染治理绩效的变化趋势。最后还利用所提出的治理绩效评价方法对全国各省市 2017 年的环境污染治理绩效进行了研究。

基于重庆市 2008~2017 年相关数据, 如下表 1 给出了重庆市环境污染治理投入指标与输出指标间的相关系数以及相关系数检验对应的 P 值。从表 1 可以看出四个环境污染治理投入指标与四个输出指标均存在较强的线性相关关系。另外还可以看出 X_1, \dots, X_4 与三个正向输出指标 Y_1, Y_2, Y_3 存在显著的正相关关系, X_1, \dots, X_4 与逆向指标 Y_4 存在显著的负相关关系。这就表明本文所选择的四个环境治理输入指标对环境治理的效果均有显著的影响, 因此可以基于所选择的指标对环境治理绩效进行综合评价。接下来, 我们基于所选择指标, 通过回归分析法来刻画投入指标与输出指标之间的相互关系, 进而建立环境治理绩效综合评价所需的权重。

Table 1. Correlation coefficient between input and output index of environmental pollution control in Chongqing
表 1. 重庆市环境污染治理投入指标与输出指标间相关系数

	X_1		X_2		X_3		X_4	
	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值
Y_1	0.895	0.000	0.800	0.005	0.937	0.000	0.920	0.000
Y_2	0.988	0.000	0.976	0.000	0.978	0.000	0.990	0.000
Y_3	0.851	0.002	0.953	0.000	0.839	0.002	0.874	0.001
Y_4	-0.919	0.000	-0.978	0.000	-0.925	0.000	-0.948	0.000

基于(1)式所定义的双对数线性回归模型, 环境污染治理投入指标 X_1, \dots, X_4 与输出指标 Y_1, \dots, Y_4 分别建立回归模型来计算回归系数 β_{km} , $k=1, 2, 3, 4$, $m=1, 2, 3, 4$ 。基于相关数据计算出回归模型系数以及回归系数 t 检验对应的 P 值见表 2。从表 2 可以看出所有的回归系数在 0.05 名誉水平下均是统计显著的, 并且四个输入指标与前三个输出指标的回归系数均大于 0, 而四个输入指标与 Y_4 的回归系数均小于 0。这也进一步表明输入指标与输出指标之间存在显著的相关关系, 相关方向与表 1 所得结论是一致的。另外也表明基于所选的投入指标和输出指标建立环境污染治理评价指数是合理的。

Table 2. Regression coefficient between input and output index of environmental pollution control in Chongqing
表 2. 重庆市环境污染治理投入指标与输出指标间回归系数

	X_1		X_2		X_3		X_4	
	回归系数	P 值	回归系数	P 值	回归系数	P 值	回归系数	P 值
Y_1	0.819	0.000	0.813	0.005	0.943	0.000	0.932	0.000
Y_2	0.976	0.000	1.071	0.000	1.062	0.000	1.083	0.000
Y_3	0.889	0.002	1.105	0.000	0.963	0.002	1.011	0.001
Y_4	-0.785	0.000	-0.927	0.000	-0.869	0.000	-0.897	0.000

基于表 2 中的数据, 计算出 B_1, \dots, B_4 如下

$$B_1 = 0.819 + 0.813 + 0.943 + 0.932 = 3.507$$

$$B_2 = 0.976 + 1.071 + 1.062 + 1.083 = 4.192$$

$$B_3 = 0.889 + 1.105 + 0.963 + 1.011 = 3.968$$

$$B_4 = |-0.785| + |-0.927| + |-0.869| + |-0.897| = 3.478$$

进而利用公式(2)可得环境污染治理绩效指数的权重为

$$W_1 = \frac{B_1}{B_1 + B_2 + B_3 + B_4} = 0.2316, \quad W_2 = \frac{B_2}{B_1 + B_2 + B_3 + B_4} = 0.2768$$

$$W_3 = \frac{B_3}{B_1 + B_2 + B_3 + B_4} = 0.2620, \quad W_4 = \frac{B_4}{B_1 + B_2 + B_3 + B_4} = 0.2296$$

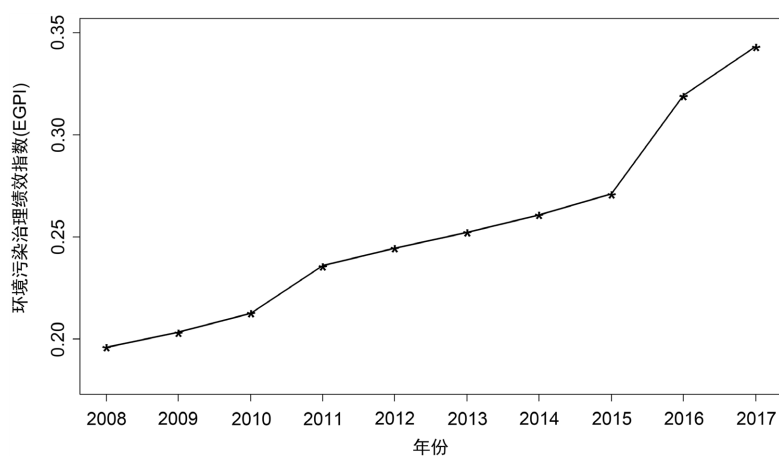
记 \tilde{Y}_{mt} , $m=1, \dots, 4$ 表示重庆市第 t 年按公式(3)和(4)标准化后的环境污染输出指标, 那么重庆市第 t 年的环境污染治理绩效指数可表示为

$$EGPI_t = 0.2316\tilde{Y}_{1t} + 0.2768\tilde{Y}_{2t} + 0.2620\tilde{Y}_{3t} + 0.2296\tilde{Y}_{4t} \quad (5)$$

基于公式(5)则可以计算出重庆市 2008~2017 年环境污染治理绩效指数, 具体计算结果见表 3。另外如下图 1 为重庆市 2008~2017 年环境污染治理绩效指数的变化趋势折线图。由表 3 和图 1 可以看出, 在 2008 年初期, 环境污染问题刚刚被重视, 关于环境污染治理的投入才刚刚开始, 所以治理效果以一个相对缓慢的速度增长。随着环境污染治理的人力、财力和物力的不断累积投入, 到最近的 2016、2017 年环境污染治理效果则迅速地增长。该结果也表明, 在环境污染治理过程中, 治理效果具有一定的积累效应和规模效应。当环境污染治理的各种累积投入达到一定规模时, 环境污染治理的效果才会逐渐显现出来。

Table 3. Environmental pollution control performance index of Chongqing 2008~2017**表 3.** 重庆市 2008~2017 年度环境污染治理绩效指数

年份	EGPI	年份	EGPI
2008	0.1959874	2013	0.2523395
2009	0.2032383	2014	0.2607432
2010	0.2128026	2015	0.2709152
2011	0.2358061	2016	0.3190165
2012	0.2444776	2017	0.3431194

**Figure 1.** Trend chart of environmental pollution control performance index of Chongqing 2008~2017**图 1.** 重庆市 2008~2017 度环境污染治理绩效指数趋势图

接下来,我们利用对重庆市环境污染治理绩效评价相同的计算过程,对我国各省市 2017 年的环境污染治理绩效进行评价。由于西藏的相关数据缺失较多,我们只对全国除西藏以外其他 30 个省市的环境污染治理绩效进行评价,绩效评价结果见表 4。

Table 4. Environmental pollution control performance index in 2017 of all provinces in China**表 4.** 我国各省份 2017 年度环境污染治理绩效指数

省份	EGPI	次序	省份	EGPI	次序	省份	EGPI	次序
北京	0.357611	15	浙江	0.537913	4	海南	0.252304	29
天津	0.287474	26	安徽	0.448721	7	重庆	0.343119	19
河北	0.490987	6	福建	0.404615	12	四川	0.446970	8
山西	0.417758	11	江西	0.335113	18	贵州	0.286253	27
内蒙古	0.329494	21	山东	0.703044	2	云南	0.350251	17
辽宁	0.433137	10	河南	0.520552	5	陕西	0.330777	20
吉林	0.311074	24	湖北	0.442364	9	甘肃	0.269543	28
黑龙江	0.325224	22	湖南	0.399977	13	青海	0.320501	23
上海	0.371261	14	广东	0.794275	1	宁夏	0.237220	30
江苏	0.641955	3	广西	0.352960	16	新疆	0.299957	25

从表 4 可以得出以下几条结论:

1) 广东、山东、江苏以及浙江等经济实力较强的省市环境污染治理效果相对较好。这表明经济基础较好的省市可以有条件投入大量的人力、财力和物力进行环境污染治理,从而也印证了环境污染治理具有一定的规模效应。

2) 山西、河北以及辽宁等重污染或重工业省市在环境污染治理效果方面也相对较好。这主要是因为在国家相关环保政策的约束下,这些重污染或重工业省市投入了大量的资金和人力进行环境污染治理,达到了一定的规模效应,从而表现出了相对较好的治理效果。

3) 另外我们还可以看出,甘肃、青海及宁夏等经济基础相对较弱的省市,环境污染治理的投入相对较少,没达到一定的规模效应,环境污染治理绩效还处于一个相对较低的水平。

4. 结论

总之,从我国各省市环境污染治理评价绩效来看,随着我国对环境保护的重视以及治理投入的累积增加,我国大部分省市的环境污染治理投入已初具规模,环境污染治理效果也在一个相对较高的水平。但是仍有部分省市的经济基础相对较弱,对环境污染治理的投入以及治理绩效均处在一个较低的水平。环境污染治理在今后一个相当长时期仍是我国环境治理的工作重点和难点。

基金项目

本文研究成果得到国家自然科学基金项目《高维内生协变量的半参数建模及其在环境治理绩效测度中的应用》(编号:18BTJ035)资助。

参考文献

- [1] Cai, H., Mei, Y.D., Chen, J.H., et al. (2020) An Analysis of the Relation between Water Pollution and Economic Growth in China by Considering the Contemporaneous Correlation of Water Pollutants. *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122783>
- [2] 王芳. 我国水污染现状及其影响因素分析: 2003-2011——基于跨省面板数据的实证研究[J]. 未来与发展, 2014, 37(4): 17-21.
- [3] 史芳, 包景岭, 李燃. 基于 STIRPAT 模型的天津市水环境污染影响因素分析[J]. 环境监测管理与技术, 2019, 31(6): 64-67.
- [4] 张曙红, 武鹏程. 武汉市大气环境质量的综合评价[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(3): 110-113.
- [5] 李静萍, 周景博. 工业化与城市化对中国城市空气质量影响路径差异的研究[J]. 统计研究, 2017, 34(4): 50-58.
- [6] 常思远. PLS 模型下空气污染影响因素的统计测度——以中原五省为例[J]. 安阳师范学院学报, 2019(2): 19-24.
- [7] 杨宝强. 探究城市环境污染的影响因素与综合评价分析[J]. 环境影响评价, 2020, 42(2): 87-89.
- [8] 郭四代, 张华, 郭杰, 逯承鹏. 基于空间计量模型的中国环境污染评价及影响因素分析[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 471-481.
- [9] 王茜. 山西省水污染治理效率评价及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西财经大学, 2019.
- [10] 孙丹璐. 环境金融发展对水污染治理作用研究——以江苏省为例[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2015.
- [11] 官永彬, 赵思涵. 高质量发展下长江经济带环境治理绩效的评价体系构建与测度研究[J]. 重庆师范大学学报(社会科学版), 2020(2): 59-71.
- [12] 董战峰, 郝春旭, 刘倩倩, 等. 基于熵权法的中国省级环境绩效指数研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(8): 93-99.