

资源型区域生态环境治理效率评价及影响因素分析

——以山西省为例^①

苗世青¹，孙钰^{1,2}，李向春²

(1. 天津商业大学公共管理学院, 天津 300134; 2. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 资源型区域在发展过程中多以牺牲环境为代价, 其生态环境亟需改善。山西省作为矿产资源型省份以及能源与老工业基地, 生态环境改善对于促进其经济转型发展具有重要意义。本文以山西省 2007-2017 年的数据为依据, 利用超效率 SBM 模型及 Malmquist 指数对山西省生态环境治理效率以及全要素生产率进行分析, 据此对山西省的生态环境治理水平进行科学评价, 并利用 Tobit 模型进行回归分析, 对可能影响生态环境治理效率的因素进行探究识别。结果表明, 山西省生态环境治理水平总体上波动起伏、有待进一步提升和稳定, 工业污染治理投资和生活污染治理投资等指标对效率值存在不同方向和程度的影响。最后提出山西省生态环境治理改善的相关建议。

关键词: 生态环境治理效率; 山西省; 超效率 SBM-Malmquist; 回归分析

中图分类号: X321; F124 **文献标志码:** A **文章编号:**

一、研究背景

2020 年 5 月, 习近平总书记在山西考察时强调, 山西省兴于煤、困于煤, 要将生态环境保护与能源革命、绿色生产生活方式、经济转型发展统筹起来, 扎实实施黄河流域生态保护和高质量发展国家战略^[1]。2017 年, 国务院发布了《关于支持山西省进一步深化改革促进资源型经济转型发展的意见》, 指出山西省转型发展要坚持生态优先的原则^[2]。山西省作为煤炭大省和我国重要的能源基地和老工业基地, 长期以来为全国提供重要的能源和原材料, 并形成了以煤炭为核心的产业结构, 对煤焦、电力、冶金等资源型产业有极大的依赖, 使得经济发展多以牺牲环境为代价, 导致了一系列生态环境问题, 主要表现为: ①由于技术条件的约束未对废水进行及时和有效治理, 水污染处理率低, 污染现象严重。当前山西省废污水

^① 收稿日期: 2020 年 5 月 27 日。

作者简介: 孙钰 (1965—), 女, 天津人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 区域公共设施配置与生态环保效率;

苗世青 (1995—), 通信作者, 女, 山西人, 硕士研究生, 主要研究方向: 区域公共设施配置与生态环保效率。

李向春 (1991—), 男, 山西人, 天津大学管理与经济学部博士生, 主要研究方向: 技术管理与创新。

基金项目: 2019 年天津市哲学社会科学规划资助重点项目“京津冀生态文明与城市化耦合协调发展的时空演进研究”(TJYY19XSX-018)。

排放总量为 7.88 亿 t，而污水处理回用量为 2.5292 亿 t，仅占废污水排放总量的 32%；16 条主要河流河长为 1463.4km，其中污染河长 1106.6km，全省水功能区中，符合水功能区限制纳污红线主要控制指标考核要求的达标率仅为 62.7%^[3]；②大气污染问题突出，是全国空气污染最严重的区域，综合指数在全国仍然位处倒数第一，且由于二氧化硫减排率较低，二氧化硫平均浓度绝对值在全国最高，主要污染物排放增幅较快；③大量工业固体废弃物产生和堆集。以煤炭为主的产业结构以及传统的生产技术难以减少工业固废的产生，导致工业固体废物的综合利用率仅为 35.5%，地下水及土壤等污染严重。

生态环境治理是一项复杂、艰难、需要持续实施的系统工程^[4]。近些年，山西省对生态环境治理日益重视。2007—2017 年，工业用水重复利用率始终保持在较高水平，工业二氧化硫减排率自 2014 年开始有明显的提升，而工业固体废物综合利用率有波动下降趋势（见图 1）。2018 年，全省二氧化硫排放总量较 2015 年下降 20.06%，较 2015 年重点工程减排量达 21.01 万吨；与 2017 年相比，全省地表水环境质量有所好转，全省辐射环境质量总体良好^[5]，表明山西省生态环境治理能力总体有所提升。

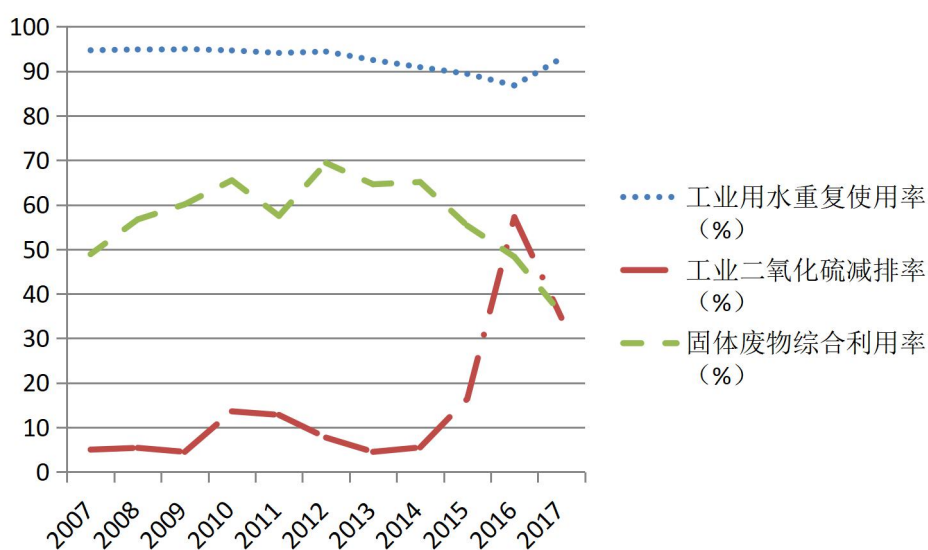


图 1 2007-2017 年山西省生态环境治理情况

但是，由于长期以来依托煤炭资源开采和粗加工发展，与其他地区相比生态环境治理压力较大。山西省属于水资源紧缺地区、用水总量基数少、工业用水重复率高，因此工业废水减排率较高；作为我国主要工业基地，山西是全国空气污染最严重的区域，工业二氧化硫排放总量占全国总量的比例较大，因此其减排率相对高于全国平均水平；以“煤炭”为核心的产业结构使得工业固体废物总量大，大量煤矸石、赤泥、冶炼废渣等堆集，处理难度大，

工业固体废物综合利用增长率远低于全国平均水平（见图 2、图 3）。2017 年，全省工业污染治理项目投资额 515240 万元，同比前一年增长了 71.32%，工业废水、工业废气治理效率仅分别增长 1.35、0.04 个百分点，而工业废物综合利用率下降了 12.8%，可见山西省生态环境治理效率偏低。

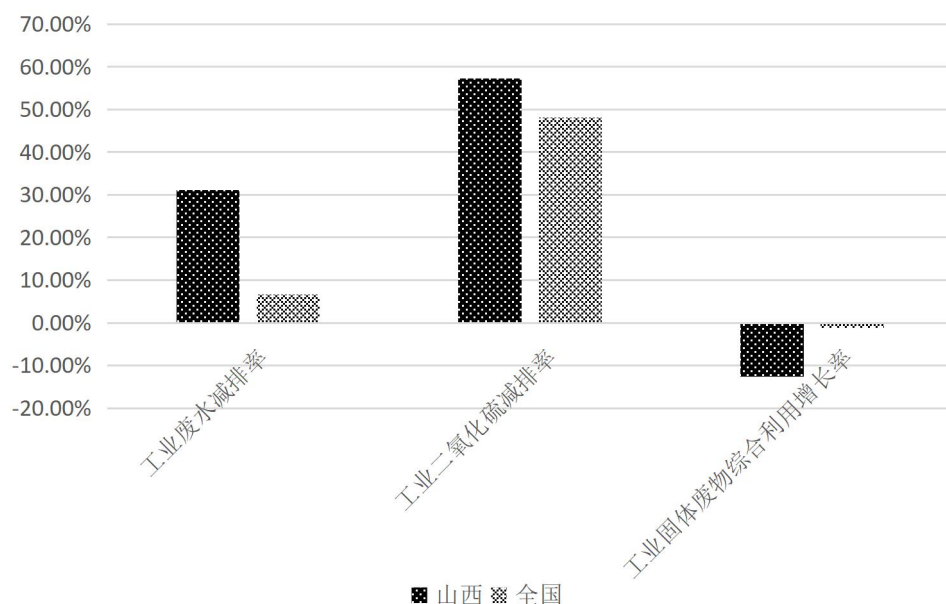


图 2 2016 年山西与全国生态环境治理效果比照图

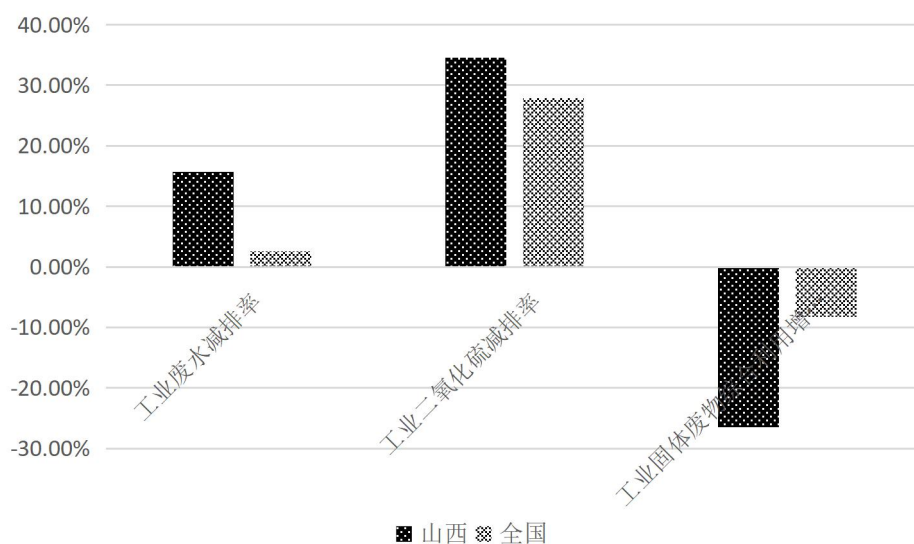


图 3 2017 年山西与全国生态环境治理效果比照图

（注：根据《中国统计年鉴》、《山西统计年鉴》相关数据整理计算而成）

根据王鹏等专家的观点，污染治理投资与企业技术创新作为环境污染的末端治理与前端预防，对于生态环境治理具有重要作用^[6]。因此造成山西省生态环境治理效率偏低的影响

因素主要与政府对工业污染治理的投资和工业企业技术的研发创新有关。根据已有研究，通常选用工业用水重复利用率、工业二氧化硫减排率和工业固体废物综合利用效率来反映生态环境治理效率，本文围绕这三个指标展开研究，从山西省政府投入和企业研发的角度考察工业污染治理投资和工业企业技术创新对山西省工业“三废”治理效率的影响，在此基础上给出山西省生态环境改善的对策建议、促进山西省建设形成经济发展且生态良好的新局面。

二、文献综述

水体污染、空气污染和土壤污染等一系列环境问题已严重影响了经济发展的可持续性^[7]。多数研究关注工业企业科学技术和政府生态环境治理投入与生态环境之间的关系。随着科技的不断更新进步，学者们注意到科学技术创新对生态环境的改善作用，认为先进的生产技术有利于减少有害物质的产生和排放（Jan Larsson、Kjetil Telle）^[8]；且研究发现工业企业采用环境友好技术活动能有效降低对生态环境造成的不可逆转的污染损害（Karen Bakker）^[9]。国内学者集中于从生态环境治理效率的角度进行研究，多数认为工业企业绿色技术创新对生态环境改善的正效应显著^[10-11]。很多学者认为在短期内技术创新水平较低，无法有效推动产业结构优化、不能减少环境污染，而随着企业规模的扩大，技术创新对生态环境的影响为正且逐步增强^[12-13]。严翔^[14]指出科技创新应该由传统的发展模式转为关注科创投入产出的经济高效且强调绿色的导向，以考量科创过程和产出质量是否生态友好、绿色环保。在政府生态环境治理投入方面，多数研究认为政府投入能改善生态环境。Shunsuke Managi^[15]通过对美国农业污染治理投入数据的分析，发现美国的农业生态环境保持持续恢复的状态。S. Gokool^[16]应用资源投资优化系统确定了优先投资领域，认为水资源管理中生态基础设施的潜在投资可导致沉积物的大幅减少。我国学者通过分析政府污染源治理投入和建设项目环保投入对生态环境治理的影响，发现大部分地区工业污染治理投资仍存在“高投入、低效益”问题，认为政府应主动提高循环利用方面的投入，而不只是事后治理的被动投入^[17-19]。以贺俊为代表的专家^[20]认为环境治理公共投入在GDP中的占比与环境污染之间存在倒U形曲线且比重超过1.8%时才能有效遏制环境污染加剧。此外，有学者从投入的合理化运用方面分析了生态环境的作用，提出在生态环境治理中减少财政浪费、提高资金使用效率才能有效解决财政资金压力与生态环境恶化之间的矛盾^[21]。

由此可见，以往研究多偏向于单独从政府角度的生态环境治理投入或企业角度的技术创

新投入进行研究,从二者相结合推动生态环境治理效率提高的视角加以研究的成果尚比较少见。本文根据山西省的污染现状从工业生产、生活污染和自然环境治理三个方面进行切入,主要从要素投入和产出的角度、以生态环境治理投资指标和技术创新要素及生态环境产出构建计量模型测算山西省生态环境治理动态和静态效率值,分析比较山西省生态环境治理效率的主要影响因素。

三、构建山西省生态环境治理效率评价指标体系

山西省生态环境改善是政府为顺应人民对良好生态环境的新期待,以推动转型发展、改善生态环境质量为目标对山西省生态环境中存在的各类污染问题进行的治理。通过借鉴现有文献中生态环境治理效率评价的相关指标体系,根据指标选取的代表性、系统性、科学性和可操作性等原则,在充分考虑山西省作为煤炭资源大省的客观情况下,本文拟从山西省工业污染治理、生活污染治理以及自然环境治理三个方面选取投入指标,其中工业污染治理是指对工业生产中所导致的“工业三废”污染和生产工艺改进的生态环境治理,具体指标为治理废水投资额、治理废气投资额、治理固体废物投资额和企业 R&D 经费支出^[22-24];生活污染治理是对生活污水、生活垃圾、生活废气污染等的生态环境治理等,具体分为节能环保支出、环境治理投资总额和环境从业人员指标^[25-26];自然环境治理是对土地资源、水资源、大气资源等的生态环境治理和建设,选取造林总面积作为投入指标^[27]。

产出指标上,选取期望产出和非期望产出指标。期望产出方面,地区生产总值可以从经济效益角度反映生态环境治理效率情况,且以往研究多采用 GDP 进行衡量,故本文将作为期望产出指标之一;根据《水污染防治行动计划》、《大气污染防治法》、《工业固体废物资源综合利用评价管理暂行办法》等,工业用水重复使用率、二氧化硫减排率、固体废物综合利用率和能源投入产出总效率能反映工业污染治理效率、生产技术进步效果和对自然环境的治理保护;建成区绿化覆盖率、生活垃圾清运量和生活垃圾无害化处理率能直观体现生活污染治理和生态环境治理成果。非期望产出方面,本文借鉴买亚宗等学者^[28],选取了化学需氧量排放量。山西省生态环境治理投入—产出指标体系如表 1 所示。

表 1 山西省生态环境治理投入—产出指标体系

一级指标	二级指标	表征变量
投入指标	工业污染治理投入	X_1 治理废水投资额 (万元)

		X ₂ 治理废气投资额 (万元)
		X ₃ 治理固体废物投资额 (万元)
		X ₄ 企业 R&D 经费支出 (万元)
		X ₅ 节能环保支出 (亿元)
	生活污染治理投入	X ₆ 环境治理投资总额 (万元)
		X ₇ 环境从业人员 (万人)
		X ₈ 造林总面积 (千公顷)
	自然环境污染投入	
产出指标	期望产出	Y ₁ 地区生产总值 (亿元)
		Y ₂ 工业用水重复使用率 (%)
		Y ₃ 二氧化硫减排率 (%)
		Y ₄ 固体废物综合利用率 (%)
		Y ₅ 能源投入产出总效率 (%)
		Y ₆ 建成区绿化覆盖率 (%)
		Y ₇ 生活垃圾无害化处理率 (%)
	非期望产出	Y ₈ 化学需氧量排放量(万吨)

四、研究方法与数据来源

(一) 研究方法

1. 超效率 SBM 模型

DEA 是一种以线性规划为基础的多种标准效率模型，较经典的两个模型为 CCR 和 BCC 模型。超效率 DEA 模型是在 BCC 模型上做的进一步优化，能对多个有效决策单元效率值进行差别性辨别和排名，该模型将最初效率值为 1 的决策单元进行二次运输，得到其真实的大于 1 的值，有利于区分原来均处于前沿面上决策单元的技术效率水平，从而对有效 DMU 进行快速比较和排序。Tone (2001)^[29] 提出 SBM 模型，该模型为非径向的 DEA 模型，可分为投入导向、产出导向和非导向，并将松弛变量置于目标函数中，弥补了传统 DEA 模型对松弛变量的忽视以及径向带来的偏差影响。超效率 SBM 模型是将超效率和 SBM 模型结合起来的一种模型，属于超效率 DEA 模型的一种，较一般的径向 DEA 模型而言，考虑了全部的松弛变量，能更为准确的对效率值进行评估和比较。本文采用包含非期望产出的非导向的超效率 SBM 模型来研究山西省生态环境治理的静态效率。

2. Malmquist 指数

Fare (1989)^[30] 基于静态的 DEA 模型上建立从 t 期到 t+1 期的 Malmquist 指数，用于核定生产效率和衡量产出-投入比的动态变化，并且基于不同的生产技术假设可将其分解成若

干个子效率指标。超效率 SBM 模型主要用于测算静态效率值，为体现区域内的动态效率变化，本文进一步采用 Malmquist 指数来测量山西省 2007—2017 年间的动态环境治理效率。

3. Tobit 回归模型

为了能准确找到提升山西省生态环境治理效率的影响因素和对策，本文采用 Tobit 回归模型对影响因素进行分析。Tobin (1958)^[31]提出 Tobit 模型，它属于因变量受限回归模型，本文在超效率 SBM 模型效率值的基础上对其进行数据处理，使效率值符合 0-1 的区间范围，并运用 Stata 软件对数据进行回归分析。

(二) 数据来源

本文研究的时间跨度为 11 年，其中 2019 年的中国统计年鉴虽已发布，但年鉴中未公布 2018 年山西省的相关指标数据，故本文研究的是 2007-2017 年山西省生态环境治理效率，研究数据来源于历年《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《山西统计年鉴》和国家统计局。

五、研究结果及分析

(一) SBM 超效率值

将山西省生态环境治理的投入产出值导入到 DEA-Solver pro. 5.0 软件，计算得到在考虑非期望产出的生态环境治理超效率值和投入产出的松弛变量结果，见表 2 和表 3。

表 2 2007-2017 年山西省生态环境治理超效率值

年份	超效率值	排名	年份	超效率值	排名
2007	1.207	2	2013	1.007	11
2008	1.011	10	2014	1.034	7
2009	1.015	9	2015	1.088	5
2010	1.102	4	2016	1.316	1
2011	1.022	8	2017	1.180	3
2012	1.043	6	历年均值	1.093	/

从表 2 分析结果可以看出，2007—2017 年山西省生态环境治理效率历年均值为 1.093，大部分年份位于有效的前沿面上，总体呈波动起伏趋势。其中 2013 年，山西省生态环境治理效率出现剧烈下降，为最低值 1.007，后由于山西省加大了对污染治理和污染减排的重视，生态环境治理又恢复好转，2016 年出现最高值 1.316，表明山西省生态环境的改善取得了一定成效，但还需继续保持。结合生态环境治理效率的内涵，生态环境治理效率的提升要求以尽可能少的环境要素投入达到一定的产出，或在既定要素投入前提下达到最大的环境改善产

出, 如果以上要求不能满足, 效率必定会损失, 这也意味着, 山西省生态环境治理效率提升的关键不外乎源于要素投入和产出两个方面。对此, 下文将进一步对山西省生态环境要素投入、产出变量的松弛度进行分析, 以明确其生态环境治理效率损失的具体原因, 并为其指明效率改进的方向。

表 3 2007-2017 年山西省投入-产出指标松弛变量结果

年份	废水治理投资 S-(1)	废气治理投资 S-(2)	固废治理投资 S-(3)	R&D 经费支出 S-(4)	节能环保支出 S-(5)	环境治理投资 S-(6)	环境从业人员 S-(7)	造林总面积 S-(8)
2007	117976.67	0.000	0.000	0.000	13.950	0.000	7.041	3098.254
2008	8688.673	0.000	0.000	0.000	0.000	0.260	0.000	0.000
2009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.365	0.000	0.000
2010	150410.15	8795.300	0.000	0.000	0.000	0.999	0.000	0.000
2011	0.000	0.000	0.000	0.000	8.538	0.000	0.000	0.000
2012	0.000	0.000	0.000	0.000	6.554	0.059	0.000	0.000
2013	0.000	4303.053	0.000	0.000	0.000	0.000	1.886	0.000
2014	0.000	0.000	0.000	0.000	6.892	0.609	0.000	0.000
2015	0.000	22115.253	0.000	59823.903	7.345	0.516	0.000	0.000
2016	56096.749	131046.58	4007.632	115761.04	0.000	0.000	21.532	0.000
2017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	1573.241
年份	地区生产总值 S+(1)	工业用水重复使用率 S+(2)	二氧化硫减排率 S+(3)	固体废物综合利用率 S+(4)	能源投入产出总效率 S+(5)	建成区绿化覆盖率 S+(6)	生活垃圾无害化处理率 S+(7)	化学需氧量排放量 S+(8)
2007	0.000	17.151	0.000	0.000	17.148	2.623	56.128	0.000
2008	70.496	0.000	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.000
2009	0.000	0.000	0.000	1.919	0.000	0.000	0.000	2.281
2010	0.000	9.315	0.000	13.144	3.325	1.929	0.000	0.000
2011	386.969	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.783	0.000
2012	494.693	6.101	0.000	10.281	0.000	0.000	0.000	0.000
2013	428.159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2014	0.000	0.389	0.000	8.553	0.000	0.000	0.000	0.000
2015	221.853	0.772	0.000	0.990	1.076	0.000	0.000	5.600
2016	0.000	0.000	28.734	10.299	5.122	2.331	24.978	4.588
2017	2225.810	4.423	0.000	0.000	0.000	0.000	0.619	0.000

表 3 列出了 2007-2017 年山西省生态环境治理投入、产出的冗余和不足情况, 即松弛度。

从生态环境治理要素投入的角度看, 山西省大部分年份的废水治理投资、废气治理投资、节能环保支出、环境治理投资和环境从业人员等均存在不同程度的冗余, 其中 2007 年、2015 年和 2016 年指标冗余范围较大。从生态环境治理产出角度看, 多数年份的指标均存在产出

不足的情况，其中地区生产总值、工业用水重复使用率和固体废物综合利用率的产出不足最为明显，2016年山西省产出不足的指标最多，这可能与2016年山西省在废水、废气、固废和R&D经费上的投入过多而导致能源投入产出总效率、建成区绿化覆盖率和生活垃圾处理率方面的产出不足有关。总体而言，山西省在“三废”治理投资和环境治理投资等方面的投入指标有待改进，在地区生产总值、工业用水重复率、固体废物综合利用率和能源投入产出总效率等方面的产出指标有待加强。

（二）生态环境治理全要素生产率分析

运用DEAP2.1软件可以计算出山西省各年份的技术效率指数（EFFCH）、技术进步指数（TECH）以及全要素生产率指数（TFPCH），见表4。

表4 2007-2017年山西省生态环境治理动态效率值

年份	综合技术效率 Effec	技术进步 Tech	纯技术效率 Pech	规模效率 Sech	TFP Tfpch
2007-2008	1	0.883	1	1	0.883
2008-2009	1	1.134	1	1	1.134
2009-2010	1	1.894	1	1	1.894
2010-2011	1	0.861	1	1	0.861
2011-2012	1	1.072	1	1	1.072
2012-2013	1	0.790	1	1	0.790
2013-2014	1	1.429	1	1	1.429
2014-2015	1	1.843	1	1	1.843
2015-2016	1	2.504	1	1	2.504
2016-2017	1	0.882	1	1	0.882
均值	1	1.232	1	1	1.232

通过表4可以看出，全要素生产率指数（TFP）主要受到技术进步指数（TECH）的影响，即二者指数变化吻合度较高。具体而言，山西省2007-2017年11年间技术效率指数（EFFCH）均为1，未发生明显变化。技术进步指数（TECH）在11年间变化较大，其中2007-2008、2010-2011、2012-2013和2016-2017年均有减少，分别下降11.7%、13.9%、21%和11.8%；其余年份均有不同程度的增长，其中2015-2016年的增长幅度最大，为150.4%；11年间技

术进步均值累计增长 23.2%。山西省 11 年间生态环境治理全要素生产率 (TFP) 总体上为增长趋势, 2016 年前处在较高的发展水平和趋势上, 2015-2016 出现最大值 2.504, 但在 2016-2017 年间, 由于山西省经济内生增长动力不足及煤炭资源型产品的价格波动影响, 出现剧烈下降, 全要素生产率小于 1。由前文已知 Malquist 指数与技术进步效率有关, 因此山西省可通过技术进步推动生态环境治理动态效率的提升, 以弥补生态环境治理效率的损失。

(三) 回归分析

为了对影响山西省生态环境治理效率和全要素生产率的因素进行进一步识别分析, 本文分别以山西省生态环境治理的投入要素为因变量、效率值为应变量进行相关分析, 结果见表 5。

表 5 影响因素 Tobit 回归结果

变量	变量名	回归系数	Std. Error	z-Statistic	Prob.
X ₁	治理废水投资	0.013379	0.0029619	-4.52	0.020**
X ₂	治理废气投资	-0.1265361	0.0243859	5.19	0.014**
X ₃	治理固体废物投资	-7.45E-07	1.16E-07	-6.40	0.008***
X ₄	企业 R&D 经费支出	-1.15E-07	1.46E-07	-0.79	0.488
X ₅	节能环保支出	-6.05E-06	1.33E-06	-4.55	0.020**
X ₆	环境治理投资总额	6.63E-07	1.83E-07	3.62	0.036**
X ₇	环境从业人员	-5.19E-06	9.62E-07	-5.40	0.012**
X ₈	造林总面积	-0.0001518	0.0006016	-0.25	0.817

注: ***, **和*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平

从表 5 可得出, 治理废水投资、治理废气投资、治理固体废物投资、节能环保支出、环境治理投资总额和环境从业人员等因素对山西省生态环境治理效率的影响较为显著, 而企业 R&D 经费支出和造林总面积不具有显著影响。具体而言, 治理废水投资 (X₁) 与生态环境治理效率成正向关系, 每增加 1%的废水治理投资额, 生态环境治理效率值会提高 0.013。治理废气投资 (X₂) 与生态环境治理效率成负向关系, 废气治理投资额提高 1%会降低 0.126 的效率值, 这说明废气治理投资的过程环节和资金使用有待进一步优化。治理固体废物投资 (X₃) 对生态环境治理效率有负向影响, 且影响显著, 这说明治理固体废物投资额的增加会降低整体生态环境治理效率, 但随着时间推移和投资的增加以及技术的进步, 这种影响作用会逐渐减弱。节能环保支出 (X₅) 和环境从业人员 (X₇) 对生态环境治理效率存在一定的负向影响, 说明政府在能源资源节约综合利用、环境保护管理事务和环保科技等方面的支出需调整结构、

加强对具有核心影响力的环保工作的支出建设。环境治理投资总额 (X_6) 对生态环境治理效率具有正向影响, 说明环境污染的总体治理对生态环境效率的提升有客观促进作用。企业 R&D 经费支出 (X_4) 和造林总面积 (X_8) 对山西省生态环境治理效率的影响不显著, 这与实证年限范围有限, 二者对生态环境治理效率的影响还未能充分体现, 但其仍为生态环境治理效率改善的限制因素。

六、对策建议

根据本文的研究结果, 目前山西省生态环境治理效率仍有很大的提升空间。山西省在环保科技的研发创新、节能环保、工业污染治理投资等方面的问题, 是导致其生态环境治理效率低的主要影响因素, 因此本文从这三个角度提出推进环保研发和科技创新实施步伐, 以新旧动能转换助推生态环境治理改善, 提高投入力度并优化投入布局结构的对策建议。

(一) 推进环保研发和科技创新实施步伐

科技创新最为关键的是研发和采用新技术, 先进的生产和环保技术有利于从源头和整个生产过程中控制污染物的产生和废弃物的排放, 能促进生产的清洁化和废物处理的有效性, 而充足的投资对研发和实施新技术起至关重要的作用。与全国 31 个省(市、区)相比, 山西 R&D 经费投入强度排第 22 位, 处于靠后位置, 因此山西省政府应提高对科技发展的重视, 加大对环保科技创新的投入, 加强对煤炭资源开采加工清洁技术的研发, 鼓励开发和推广低碳技术的应用。一方面, 环保技术的孵化与研发需要高校、科研机构及科学家等积极参与, 山西省政府应为环保创新平台的建设提供必要的投入, 为技术创新者提供资助并保障其知识产权的收益, 从而激发其研发环保技术的积极性。另一方面, 科技创新的实施主要依靠企业, 山西省政府应根据企业科技创新具有的风险程度和社会获益程度提供引导性投入, 对绿色环保企业的发展给与科技创新方面的支持性投入, 成立企业进行科技创新的信用担保机构并完善风险资本的退出机制; 鼓励工业企业与相关科研院校合作, 建立起企业家与科学家之间产学研协同创新、互利共赢的体制机制。

(二) 以新旧动能转换助推生态环境治理改善

保护和改善生态环境需要走绿色循环低碳节能环保发展之路, 山西省政府应积极培育发展新动能, 逐步淘汰高能耗高污染的落后产能, 推动新旧动能转换。新旧动能转换的本质是新旧产业交替更迭, 其关键落脚点在于推动产业结构的转型升级。一方面, 对于传统的煤焦

化工产业，山西省政府要推动其向高端绿色化方向转型，建设减量置换的现代化大型焦炉项目，加强对企业的规范化、标准化与法治化管理，引导企业做深做精做细，着力打造全国绿色煤焦化工产业基地。另一方面，对于萌芽和孕育中的新兴产业和高新技术产业，山西省政府要加快新产业新动能的成长，并推动其与一、二、三产业的充分融合，促进新动能节能、环保、质量、安全等社会环境效应的实现；同时，山西省新动能发展要结合自身区域的发展特点和优势，努力做优质量做强品牌，从而吸引更多的人才、知识、技术等资源要素集聚，并进一步推动产业结构优化升级。

（三）提高投入力度、优化投入布局结构

本文研究显示，在工业污染治理方面，当前山西省的工业污染治理投资尚未符合国际通用标准和国家有关规定，即工业污染治理投资占固定资产投资的比率应为 2%以上，而山西省 2017 年工业污染治理投资占固定资产投资的比率仅达到 0.9%，说明山西省工业污染治理的投入还需进一步加强；同时，山西省集中于对工业污染物的末端治理，对污染防治基础设施的建设较为落后，导致工业污染治理效果并不乐观，因此也要注重优化治理投入布局结构。在生活污染治理方面，要注重对生活垃圾的分类和无害处理，大力宣传节能环保知识、促进大众生态环保意识的形成，加强对环境从业人员的技能素养培训，推动生活污染治理效率改善。在自然环境治理投入上，应继续根据实际情况退耕还林，扩大造林面积，发挥绿色植被涵养水源、净化空气和改良土壤的功效。总之，山西省生态环境治理的投入应继续加强，并合理分布在工业、生活和自然环境等方面，且各个方面内部应优化投入结构。

参考文献：

- [1]新华社.《习近平在山西考察时强调 全面建成小康社会乘势而上 书写新时代中国特色社会主义新篇章》[EB/OL]. (2020-05-12). <http://cn.chinadaily.com.cn/a/202005/12/WS5ebb76fda310eec9c72b8924.html>.
- [2]中共中央国务院.《关于支持山西省进一步深化改革促进资源型经济转型发展的意见》[EB/OL]. (2017-09-11). http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-09/11/content_5224274.html.
- [3]山西省人民政府.《2017 年山西省水资源公报》[EB/OL]. (2019-03-06). <http://slt.s>

hanxi.gov.cn/zncs/szyc/szygb/201903/t20190306_87065.html.

[4]万健琳. 习近平生态治理思想:理论特质、价值指向与形态实质[J]. 中南财经政法大学学报, 2018(05):44-49+87+163-164.

[5]山西省人民政府. 《2018年山西省生态环境状况公报》[EB/OL]. (2019-08-26). <http://sthjt.shanxi.gov.cn/html/hjzkgb/20190826/81878.html>.

[6]王鹏, 谢丽文. 污染治理投资、企业技术创新与污染治理效率[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(09):51-58.

[7]高长思, 徐信贵. 经济可持续发展的生态环境保障问题研究[J]. 中国软科学, 2011(S2):150-156.

[8]Jan Larsson, Kjetil Telle. Consequences of the IPPC's BAT Requirements for Emissions and Abatement Costs: A DEA Analysis on Norwegian Data.[J] Environmental and Resource Economics, 2008(41):563-578.

[9]Karen Bakker, Max Ritts. Smart Earth: A meta-review and implications for environmental governance[J]. Global Environmental Change, 2018:201-211.

[10]王瑾. 工业技术与资源环境协调发展的实证研究——基于超效率 DEA 生态效率和区域面板数据[J]. 科技管理研究, 2014, 34(22):208-212.

[11]刘云强, 权泉, 朱佳玲, 王芳. 绿色技术创新、产业集聚与生态效率——以长江经济带城市群为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(11):2395-2406.

[12]史建军. 技术创新对中西部地区环境治理效率的异质门槛效应[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(01):128-131.

[13]陈阳, 逯进, 于平. 技术创新减少环境污染了吗?——来自中国 285 个城市的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2019, 39(01):73-84.

[14]严翔, 成长春. 长江经济带科技创新与生态环境间的动态响应研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2019, 35(05):22-29.

[15]Shunsuke Managi. Are there increasing returns to pollution abatement? Empirical analytics of the Environmental Kuznets Curve in pesticides[J]. Ecological Economics, 2005, 58(3).

[16]S. Gokool, G.P.W. Jewitt. Identifying hotspots for investment in ecological infrastructure within the uMngeni catchment, South Africa[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2019.

[17]张亚斌, 马晨, 金培振. 我国环境治理投资绩效评价及其影响因素——基于面板数据的 S

- BM-TOBIT 两阶段模型[J]. 经济管理, 2014, 36(04):170-179.
- [18]陈俐,何平林. 环境投资效率的中美比较分析[J]. 经济研究参考, 2016(10):82-88.
- [19]袁华萍. 基于 DEA 视窗分析的中国环境治理投资效率研究[J]. 生态经济, 2016, 32(04):154-157.
- [20]贺俊,刘启明,唐述毅. 环境污染治理投入与环境污染——基于内生增长的理论及实证研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2016, 37(03):12-18.
- [21]刘建设. 地方政府环境保护支出减排效应研究[J]. 会计之友, 2018(18):33-39.
- [22]杨晓叶,米彦香,许东海. 环境污染与环境治理的耦合性分析——以工业废气排放与治理为例[J]. 生态经济, 2019, 35(01):187-190+201.
- [23]刘丽波. 江西区域环境治理投资效率评价研究——基于政府统计指标数据和 DEA 分析法[J]. 中国统计, 2016(06):68-70.
- [24]方建新,卢群英. 银行贷款、政府与企业科技投入的动态效率研究[J]. 宁波大学学报(人文科学版), 2015, 28(04):87-92.
- [25]孙钰,赵玉萍,崔寅. 我国乡村生态环境治理:效率评价及提升策略[J]. 青海社会科学, 2019(03):53-59.
- [26]和立道,王英杰,张鑫娜. 财政分权、节能环保支出与绿色发展[J]. 经济与管理评论, 2018, 34(06):25-35.
- [27]李雪敏. 造林能改善空气污染状况吗?——基于造林存量与流量的实证分析[J]. 生态经济, 2018, 34(09):202-205+230.
- [28]买亚宗,卢佳馨,马中,石磊. 城镇污水处理设施运行效率及其规模效应研究[J]. 中央财经大学学报, 2016(04):122-128.
- [29]刘浩,何寿奎,王娅. 基于三阶段 DEA 和超效率 SBM 模型的农村环境治理效率研究[J]. 生态经济, 2019(8).
- [30]FARE R,GROSSKOPF S,NORRIS M,et al.Productivity growth,technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J].American Economic Review, 1994,84(01):66-83.
- [31]李鑫,孙小霞,苏时鹏. 基于 DEA-Tobit 模型的中国县域污水处理服务减排效率测评[J]. 资源科学, 2017, 39(03):451-460.

The Efficiency Evaluation and the Analysis of Influencing Factors in the Eco-environmental Governance of Resource-based Regions
——Taking Shanxi Province as an Example

MIAO Shiqing, SUN Yu, LI Xiangchun

(School of Public Administration, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;
School of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300134, China)

Abstract: Resource-based regions are in great need of improvement at the expense of the environment in the development process. As a mineral resource-based province and an old industrial base, the improvement of ecological environment in Shanxi Province is of great significance to promote its economic transformation and development. Based on the data of 2007-2017 in Shanxi Province, this paper analyzes the eco-environmental governance efficiency and total factor productivity of Shanxi Province by using the super-efficient SBM model and Malmquist index, evaluates the level of eco-environmental governance of Shanxi Province scientifically, and uses Tobit model for regression analysis to explore and identify the factors that may affect the efficiency of eco-environmental governance. The results show that the level of eco-environmental governance in Shanxi Province is fluctuating, which needs to be further improved and stabilized. The indicators such as investment in industrial pollution control and investment in domestic pollution control have different directions and degrees of impact on the efficiency value. Finally, the relevant suggestions for the improvement of eco-environmental governance in Shanxi Province are put forward.

Keyword: efficiency of eco-environmental governance; Shanxi Province; super-efficient SBM-Malmquist; regression analysis

(责任编辑: 胡雅芬)