

高质量发展下中国区域环境效率的实证测度、 时空特征及影响因素研究

官永彬 谢正蕾

(重庆师范大学 地理与旅游学院,重庆 400047)

摘要:文章契合高质量发展理念对中国区域环境效率加以非参数测度,运用 Dagum 基尼系数、空间自相关和空间面板杜宾模型等方法,探究中国区域环境效率的时空特征和影响机理。结果显示:区域环境效率整体改善呈由东至西逐渐递减的空间不平衡分布,但该空间差异总体表现为波动下降趋势,区域间差异仍是导致空间差异的主要根源;区域环境效率存在显著的空间集聚特征,高效率区主要集中在东部沿海省份,而低效率区则分布于西部内陆省份;强制型环境规制、自愿型环境规制和城镇化对区域环境效率的提升具有显著促进作用,财政分权抑制了区域环境效率的改善,市场型环境规制的影响并不显著;自愿型环境规制具有正向空间溢出效应,产业结构则表现为负向空间溢出效应。

关键词:高质量发展;环境效率;时空特征;空间面板杜宾模型

中图分类号:

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2022)01-0005-15

doi:10.19742/j.cnki.50-1164/C.220101

“沧海百年,民生不息”。改善民生福祉是党和政府追求的永恒主题,而生态环境与民生福祉高度关联。改革开放四十余年来经济领域取得辉煌成就的同时却是生态环境问题的日益累积和突显。为此,党的十九大报告作出了我国已迈入高质量发展阶段的战略论断,并要求“实行最严格的生态环境保护制度”^[1]。各级地方政府纷纷增加生态环境领域的财政投入以响应中央政府统筹经济发展与环境保护的战略要求。统计数据显示,2017 年我国环境污染治理投资总额高达 9 539 亿元,较之于 2001 年,年均涨幅为 14%,保持了持续稳定的增长态势^[2]。然而,在新时代高质量发展的情景下,地方政府不仅要扩大环境领域财政资源投入规模,更要优化财政资源的投入效率。因此,不断提升区域环境效率,不仅是新时代助推经济高质量发展的战略路径,更是改善环境民生福祉的重要内容。

收稿日期:2021-11-16

作者简介:官永彬(1978—),男,重庆璧山人,重庆师范大学地理与旅游学院教授,硕士生导师,主要研究方向:区域经济、环境经济与旅游经济。

谢正蕾(1997—),女,重庆城口人,重庆师范大学地理与旅游学院硕士研究生,主要研究方向:人文地理。

基金项目:2019 年度教育部人文社会科学研究项目“高质量发展视角下地方政府环境治理绩效的测度、影响机制及提升路径研究”(19YJC630046);2019 年度重庆师范大学校级招标项目“重庆在推进长江经济带绿色发展中发挥示范作用研究”(2019XZB01);2021 年度重庆市社会科学规划项目“长江上游流域跨界生态环境府际协同治理研究”(2021NDYB061)。

一、文献述评

自 Schaltegger 和 Sturm(1990)^[3] 提出环境效率概念后,环境效率逐渐成为可持续发展的重要议题 (Bleischwitz,2003)^[4]。从经济活动产生的环境影响来看,环境效率刻画了生态环境领域投入与产出的相对有效性,可以作为考察地区经济高质量发展水平的重要指标。利用 Citespace 可视化图谱研究方法对环境效率文献加以梳理发现,当前环境效率研究主要集中在三个方面。

一是环境效率的测度方法与指标设计。环境效率测度方法主要有 SFA 随机前沿分析法 (Aigner et al,1977)^[5]、DEA 非参数前沿方法 (Charnes,1978)^[6] 两种类型。近年来国内外学者常常利用传统或改进的 DEA 方法对行业、企业等组织的环境生产效率加以考察。如 Färe 等 (1989) 首次采用 DEA 工具测度热电厂环境效率,并在模型建构中考虑了环境负面效应^[7]。Chang 等 (2013) 选择 DEA-SBM 模型对中国交通运输行业进行环境效率测度^[8]。DEA 方法是处理多投入、多产出生产过程的有力工具 (Zhou et al,2008)^[9],其投入产出评价指标是该方法的关键要素 (Charens,1978)^[10]。现有学者多依据环境治理活动的过程逻辑,常从资金、技术与人力等要素维度设计投入指标,产出指标则主要是经济产出与环境污染。如郑尚植和官芳 (2015) 选择政府环境治理投资为单一投入变量,工业废水、废气、二氧化硫、固体废物达标量或处置量为产出变量^[11]。任胜钢等 (2016) 则利用能源资源、人力资本消耗、环境污染排放与经济发展总量的投入产出指标体系测度区域生态效率^[12]。

二是环境效率时空演化与空间差异。环境效率时空特征的准确揭示可为环境政策制定提供科学依据。Camarero 等 (2013) 考察了经合组织 (OECD) 国家生态效率的时间演化趋势和俱乐部收敛效应。^[13] 王连芬和戴裕杰 (2017) 揭示了中国省级环境效率逐年递增与环境效率幻觉总体下降的趋势。^[14] 马彦瑞等 (2021) 实证发现中国环境效率在 2007-2017 年间整体处于低位且波动明显。^[15] 景晓栋等 (2020) 选择三阶段 DEA 模型考察了区域生态环境效率的时空特征。^[16] 为进一步考察中国环境效率的空间差异性,杨俊等 (2010) 运用变异系数测算了中国省际环境效率的区域差异程度及收敛趋势。^[17] 斑斓等 (2018) 则选取泰尔指数法考察我国环境污染的区域差异特征。^[18] 此外,部分学者开始尝试 Dagum 基尼系数测度城市生态效率 (杨桐彬等,2020)^[19]、生态全要素生产率 (杨万平和李冬,2020)^[20] 的地区差异。该方法既能在充分考虑组群分布基础上测度总体区域差异的来源结构 (Dagum,1997)^[21],也能有效克服样本数据之间的交叉重叠缺陷 (黎智慧等,2019)^[22]。

三是环境效率的影响因素与实证检验。环境规制工具是影响环境效率的重要因素。在环境规制对环境效率的影响机制上,郑石明和罗凯方 (2017) 揭示了强制型、市场型和自愿型等三种类型环境规制工具对大气污染治理效率的影响机制。^[23] 韩晶等 (2014) 考察了环境规制对不同污染程度制造业环境效率的差异影响以及最优环境规制强度的理性考量。^[24] 在环境规制与环境效率关系的实证检验上, Hettige 等 (2000) 研究表明严格的环境规制可以减少地区工业污水排放等负面产出。^[25] 杨冕等 (2020) 也证实环境规制显著改善了本地区工业污染治理效率。^[26] 但张子龙 (2015) 发现环境规制工具短期内抑制了区域生态效率的改善。^[27] 此外,沈能 (2012) 指出环境规制强度与工业环境效率可能存在倒“U”型的不确定关系。^[28] 在实证检验模型的选择上,多以 Tobit 模型、面板数据模型、随机前沿生产模型、面板门槛模型等忽视环境效率空间关联的研究模型为主。

综上所述,目前对环境效率测度、时空特征与影响因素的研究主要存在以下不足:首先,测度方法上 DEA 非参数技术已成为环境效率分析的主要方法,但该方法运用的关键是投入产出指标体系的科学设计,已有研究侧重于从单一维度构建投入产出指标,缺乏契合高质量发展理念的系统设计;其次,测度结果上主要对区域环境效率的时空特征进行简单统计分析,对于区域环境效率的空间分布、空间差异与空间相关缺乏全景展示,且空间差异的研究主要是变异系数、泰尔指数等传统方法,较少运用可分解的

Dagum 基尼系数法;最后,在影响机制上已有学者开始探索不同环境规制工具、环境规制强度对区域环境效率的影响,但并未充分考虑环境规制工具影响的空间溢出效应。有鉴于此,本文将立足于高质量发展情景,运用 DEA 数据包络分析技术对中国区域环境效率加以非参数测度,选择 Dagum 基尼系数和空间自相关方法考察其时空特征,继而运用空间杜宾模型揭示环境规制对其影响的空间外溢性和异质性。

二、研究方法设计

(一) 区域环境效率非参数测度方法

Farrell(1957)^[29]、Banker 等(1984)^[30]相继提出规模报酬不变(CCR 模型)和规模报酬可变(BCC 模型)的非参数 DEA 方法,该方法克服了参数前沿方法参数需要预先设定的主观性缺陷,且可以处理多投入、多产出生产过程的相对技术有效性。有鉴于此,本文采用投入导向的 DEA 模型对区域环境效率加以非参数测度:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda, S^-, S^+} \quad & \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + S_i^- = \theta x_{jo}; \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - S_r^+ = y_{jo}; \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n; S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, θ 即为区域环境效率测度值; S^- 和 S^+ 分别表示模型中投入与产出松弛向量; x_i 和 y_i 则表示第 i 个省份即决策单元的投入和产出值。

(二) 区域环境效率空间差异分析

本文运用 Dagum 基尼系数法实证测度我国区域环境效率的总体差异并分解出差异的来源结构。总体基尼系数的测度公式为:

$$G = \sum_{j=1}^k \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}| / 2 n^2 \bar{y} \quad (2)$$

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (3)$$

上式中, $y_{ji}(y_{hr})$ 表示第 $j(h)$ 个区域中第 $i(r)$ 个省份的环境效率。 k 为区域个数, $n_j(n_h)$ 表示 $j(h)$ 区域中的省份个数。Dagum(1997)将总体基尼系数(G)分解为组内差异贡献(G_w)、组间差异贡献(G_{nb})和超变密度贡献(G_t)三部分。^[31]具体测度过程如下:

$$G_{ji} = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j^2 \bar{y}_j} \quad (4)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{ji} p_j s_j \quad (5)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)} \quad (6)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (7)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (8)$$

其中, D_{jh} 为第 j 区域和第 h 区域间环境效率的相对影响; d_{jh} 和 p_{jh} 分别表示这两个区域中所有满足 $y_{ji} - y_{hr} > 0$ 及 $y_{hr} - y_{ji} > 0$ 样本值加总的数学期望; $F_j(F_h)$ 表示累积密度分布函数。相应的测度公式如下:

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}} \quad (9)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty d F_j(y) \int_0^y (y - x) d F_h(x) \quad (10)$$

$$p_{jh} = \int_0^{\infty} dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (11)$$

(三) 区域环境效率影响因素实证模型

本文首先利用空间自相关(SA)空间统计方法检验区域环境效率是否存在相邻空间上的相互作用关系,以考察我国区域环境效率的空间关联性。空间自相关方法常用全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I 指数两种统计属性值测度:

$$\text{全局 } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad \text{局部 } I_i = \frac{n^2 (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} = Z_i \sum_j w_{ij} Z_j \quad (12)$$

其中, n 为研究的省份数; y_i 和 y_j 表示第 $i(j)$ 个省份的环境效率值; $\bar{y}$ 为环境效率均值; w_{ij} 为空间权重矩阵,表示第 i 个省份和第 j 个省份的空间邻近关系。

若区域环境效率存在空间相关性,则引入空间面板杜宾模型 (SPDM) 揭示区域环境效率的影响机制与改善规律。该模型的最大优势在于充分考虑了自变量对因变量的空间交互影响 (Anselin, 1988)。^[32] 其模型表达如下:

$$Y_{it} = \beta X_{it} + \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt} + \sum_{j=1}^n \gamma W_{ij} X_{jt} + \mu_i + \omega_t + \epsilon_{it} \quad (13)$$

其中, Y_{it} 和 X_{it} 分别表示 t 时期第 i 个省份环境效率和影响因素的观测值; β 表示影响因素的相关系数; ρ 为环境效率的空间自回归系数; γ 表示影响因素的空间溢出系数; W_{ij} 为创建的 30×30 二进制空间邻接权重矩阵; μ_i 和 ω_t 表示空间固定效应与时间固定效应; ϵ_{it} 则表示空间误差项。

为了进一步探讨我国区域环境效率的空间溢出效应,我们将各影响因素对区域环境效率的影响识别区分为直接效应和间接效应。基于此,本文采用偏导数方法对空间面板杜宾模型估计的系数加以分解。将空间面板杜宾模型变形为:

$$Y = (I - \beta W)^{-1} k I_N + (I - \beta W)^{-1} (X_k \beta + W X_k \beta) + (I - \beta W)^{-1} \epsilon_t^* \quad (14)$$

$$\left[\frac{\partial Y}{\partial x_{1k}} \times \frac{\partial Y}{\partial x_{Nk}} \right] = [I - \rho W]^{-1} [I \beta_k + W \beta_k] \quad (15)$$

其中, Y 是 $N \times 1$ 维环境效率向量; X_k 为 $N \times M$ 维影响变量矩阵; KI_N 是空间误差项。(15)式由(14)式中的环境效率 Y 对于第 k 个影响变量求解偏微分而得。(15)式右端矩阵对角线元素的均值为直接效应,而非对角线上元素则为间接效应。

三、区域环境效率的实证测度与时空特征分析

(一) 区域环境效率投入产出指标体系设计

高质量发展是新时代中国经济社会发展的重要主题和战略取向。从与生态环境关联的角度来说,高质量发展是以更少的资源消耗和环境代价获得更高生产效率的发展(田秋生,2018)^[33],将保护生态环境内化为经济发展的新财富(刘志彪,2018)^[34],不断改善生态环境质量(张军扩等,2019)^[35],更好满足人民群众不断增长的现实生活需求(金碚,2018)^[36],从而持续增进环境民生福祉。这意味着,政府环境治理活动是一个在投入上加强环境资源保障、产出上改善环境质量和提升环境福利的系统演化过

程(官永彬和赵思涵,2018)^[37]。因此,从环境保护、环境质量以及环境福利三个维度设计高质量发展理念下的区域环境效率测度指标体系具有合意性与必要性(具体见表1)。需要说明的是,本文采用熵权法测度区域环境效率的投入产出指数,以克服主观赋权法的主观随意性、信息重叠等不足。

表1 我国区域环境效率的投入产出指标体系

指标类型	测度指标	具体指标
投入指标	环境治理保障	(1)资金保障程度:环境污染治理投资占GDP比重(%);单位工业企业环境治理投资(万元);财政环境保护支出占比(%);人均环境保护支出(元/人) (2)资本投入密度:废水治理设施密度(套/平方公里);废气治理设施密度(套/平方公里);建成区每平方公里市容环卫专用车辆设备(台/平方公里) (3)人力资源保障:万人拥有环保人员数(人);单位工业企业配比环保人员数(人)
	环境质量改善	(1)环境污染治理:工业固体废物综合利用率(%);生活垃圾无害化处理率(%);单位GDP废水排放量(吨/万元);单位GDP废气排放量(吨/万元) (2)生态环境质量:森林覆盖率(%);自然保护区占辖区面积比重(%);建成区绿化覆盖率(%);人均公共绿地面积(公顷/万人) (3)生活环境改善:道路清扫面积占建成区面积比重(%);城镇生活污水处理率(%);农村卫生厕所普及率(%);累积已改水受益人口占农村总人口比重(%)
产出指标	环境福利提升	(1)健康资本:平均预期寿命(岁) (2)教育水平:平均受教育年限(年) (3)收入水平:人均GDP(亿元)

注:本文所采用的指标数据主要来自历年《中国环境年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》以及我国各省份历年环境统计公报

(二)区域环境效率测度及时空分布

本文基于契合高质量发展理念的投入产出指标体系,利用DEA非参数技术对我国30个省份(不含西藏和港澳台)2007-2017年时间窗口内的环境效率加以实证测度。图1展示了样本期间我国总体及分区域环境效率的时间演化情况。整体而言,我国环境效率呈波动上升趋势,从2007年的0.638提升至2017年的0.702,年均增长率为0.96%,这意味着十七大首次提出生态文明建设目标后我国生态环境治理已取得较为显著的成效,但仍存在较大效率改善空间。从我国东、中、西三大经济区域来看,区域层面环境效率时间演化的曲线轮廓与全国层面测度结果基本一致,均保持波动改善趋势。东部地区环境效率普遍高于全国平均水平,曲线变化整体上保持相对稳定。中部地区环境效率与全国平均水平基本一致,曲线变化上呈现出“W”型周期性波动改善特征,且与东部地区的差距有逐渐缩小之势。值得重点关注的是,西部地区环境效率虽然在整个样本期间缓慢上升,但仍远低于全国平均水平,特别是在2015年还出现了急剧下降。这说明西部省份仍存在着环境治理投入产出改善的必要性和效率提升的空间,应该优化利用环境治理资源,避免环境治理资源盲目投入而带来的资源配置低效。

为刻画我国环境效率的空间分布格局,我们结合代表年份的环境效率值将30个省份(不含西藏和港澳台)按环境效率值由高到低划分5种地区类型(见表2)。从2007-2017年各省份环境效率均值的空间分布看,高效率区省份除中部的吉林、安徽外均是东部省份,依次为上海、山东、广东、北京、辽宁和天津。较高效率区则来自东部的江苏和福建、中部的黑龙江以及西部的重庆。西部唯一的直辖市重庆

保持了较高的环境效率,说明重庆市在长江上游乃至整个西部地区绿色发展发挥了良好示范作用。中等效率区主要分布于中部的江西、河南、湖北、湖南和西部区的内蒙古、广西、四川、宁夏,但东部的浙江和海南也处于该区域。较低效率区、低效率区除东中部的河北和山西外均分布在西部省份,依次为甘肃、新疆、陕西、云南、贵州和青海。其中的原因可能是大部分西部省份面临着更为严重的经济增长和环境保护的双重压力,加之这些地区承接了大量从东部省份转移而来的高能耗、高污染产业,在促增长的同时也带来了环境污染风险的增加和生态环境质量的恶化,由此使得这些地区表现出较低的环境效率。总的来说,我国区域环境效率呈现出由东至西阶梯式递减的地区不平衡分布格局。

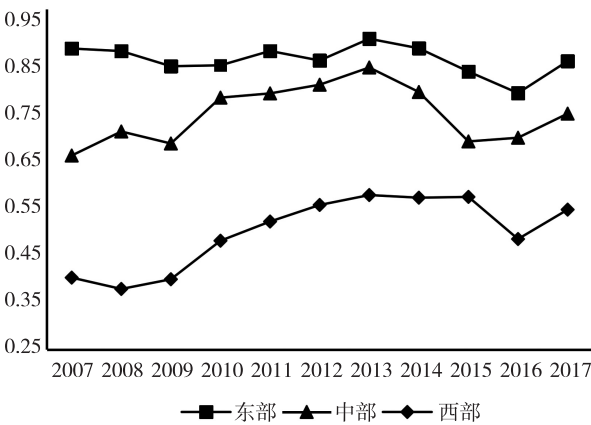


图1 我国总体及分区域环境效率的时间演化

表2 我国区域环境效率的空间分布

年份	低效率区	较低效率区	中等效率区	较高效率区	高效率区
2007	云南、贵州、陕西、山西、河北	新疆、青海、甘肃、四川、广西、湖南、河南	内蒙古、宁夏、重庆、湖北、江西、天津、辽宁	黑龙江、安徽	北京、吉林、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南
2013	山西、青海	新疆、云南、贵州、河北	甘肃、内蒙古、宁夏、陕西、四川、广西、湖南、江西、浙江	重庆、福建、江苏	黑龙江、吉林、辽宁、北京、天津、山东、河南、安徽、湖北、上海、广东、海南
2017	山西、河北	新疆、青海、内蒙古、陕西、云南、贵州、海南	甘肃、宁夏、重庆、广西、江西、河南	四川、湖南、湖北、福建、浙江、江苏、黑龙江	吉林、辽宁、北京、天津、山东、安徽、上海、广东
2007-2017	青海、山西	新疆、甘肃、陕西、河北、云南、贵州	内蒙古、宁夏、四川、广西、湖南、湖北、河南、江西、浙江、海南	黑龙江、江苏、福建、重庆	吉林、辽宁、北京、天津、山东、安徽、上海、广东

从时空演化来看,为有效增强数据变化的显著性,我们选取2007年、2013年和2017年我国区域环境效率值。表2显示,我国各省份环境效率在考察的三年间呈整体改善特征,地区间差异格局存在缩小

之势。东部地区环境效率总体保持以高效率区和较高效率区为主,但呈交替变化特征,其所占比重分别由 72.72% 和 18.18% 转化为 54.55% 和 27.27%。从具体省份空间分布来看,高效率区主要分布在国家重要战略区域的核心省份。如京津冀区域的北京、长三角区域的上海、黄河下游区域的山东以及粤港澳大湾区的广东等 4 个省份在考察的时间均位于高效率水平。此外,天津和辽宁 2 个省份也从中等效率区提升至高效率水平区。中部地区环境效率分布较为均衡,主要以较高效率区、高效率区和中等效率区为主,其所占比重大致为 20%–30%。从具体省份来看,中部地区省份环境效率整体呈跃迁趋势。如安徽省从较高效率区升至高效率区,湖北和湖南 2 个省份从中等效率区和较低效率区纷纷进入较高效率区。不过,中部地区仅有吉林省一直保持在高效率水平,而山西省则固化在低效率区。西部地区环境效率以低效率区为主转为中等效率区和较低效率区为主,呈现出不断追赶之势。低效率区比重从 54.55% 降到 18.18%,中等效率区比重从 27.28% 增至 36.36%。从具体省级尺度看,除内蒙古和青海 2 个省份外,广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏和新疆等 9 个西部省份均呈波动上升特征。

(三) 区域环境效率的空间差异

为了深入洞察我国区域环境效率空间分布差异或不平衡的演化趋势与来源结构,本文运用 Dagum 基尼系数方法对样本期我国环境效率加以测度。从图 2 我国区域环境效率 Dagum 基尼系数测度结果看,总体基尼系数从 2007 年的 0.250 缓慢下降到 2017 年的 0.207,降幅为 17.2%,说明我国区域环境效率的总体差异呈缩小趋势。此外,总体差异变化的阶段性特征明显,2007–2013 年间总体差异显著下降,但在 2014 年后处于缓慢波动上升状态,区域环境效率的总体差异有所增加。从各区域内部基尼系数来看,东部地区基尼系数基本维持在均值 0.127 上下浮动,表明东部地区环境效率差异相对较小,环境治理水平较为均衡。而中西部地区环境效率基尼系数波动幅度较大,其均值分别达到 0.182 和 0.197,都远高于东部地区,这提示中西部省份未来在提升本辖区环境效率的同时,更应注重区域内部省份间的协调联动。

图 3 描述了我国区域环境效率的差异来源和差异贡献率的演变特征。从贡献率结构来看,样本期内我国区域环境效率总体差异的主要来源是区域间差异,其平均贡献率高达 54.28%;其次是区域内差异,贡献率均值为 24.42%;而超密度差异最小,贡献率均值为 21.30%。从贡献率演变规律看,区域间差异贡献率呈现出斜“W”型的下降趋势,由 2007 年的 0.686 降至 2017 年的 0.487,总体降幅为 28.93%;区域内差异基本处于平稳态势,其贡献率维持在 20%–27% 区间;超密度贡献率呈波动上升态势,从 2007 年的 0.110 增长至 2017 年的 0.258,总体增幅达 133.80%,波动幅度相对较大。因此,未来缩小环境效率区域间不平衡是促进我国生态环境平衡发展的关键。

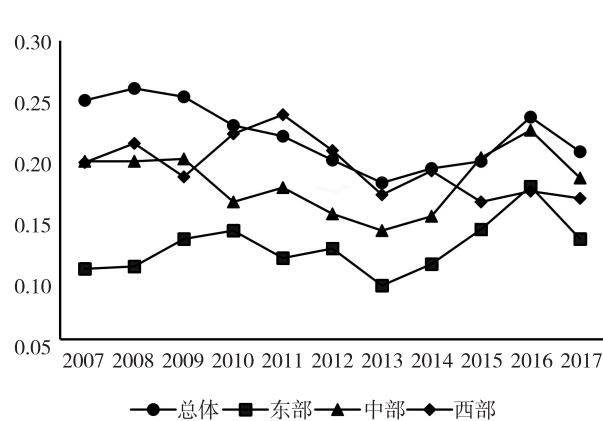


图 2 我国区域环境效率 Dagum 基尼系数测度

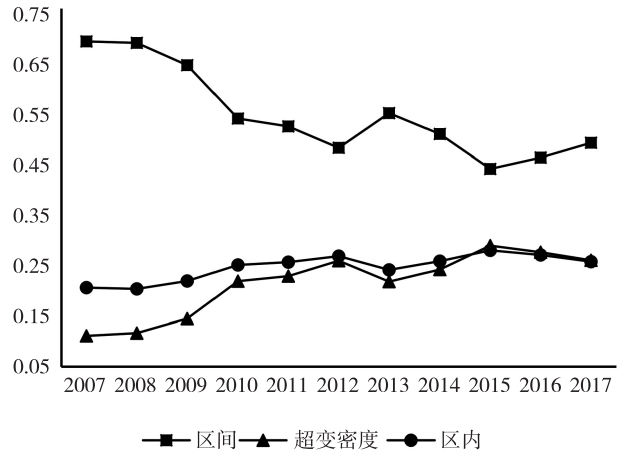


图 3 我国区域环境效率 Dagum 基尼系数分解

四、区域环境效率影响因素的空间计量分析

(一) 区域环境效率的空间相关性检验

表 3 呈现了我国区域环境效率全局莫兰指数的计算结果。从中可以看出,2007–2017 年全局莫兰指数都在 10% 及以下的置信度水平显著为正,这既说明我国区域环境效率呈现出鲜明的空间集聚特征,也说明揭示区域环境效率影响因素时需要考虑空间溢出效应。尽管在样本期间我国区域环境效率空间集聚程度呈现波动下降趋势,但区域环境效率的空间依赖性依然存在。局部 Moran's I 指数散点图显示(见图 4),2007 和 2017 代表年份各省份的空间集聚主要发生在高高(H-H)积聚和低低(L-L)积聚象限内。H-H 积聚主要分布于国家重要战略区域核心的东部沿海经济发达省份,包括上海、江苏、浙江、山东、广东等省份,这些省份可以享受国家重要区域战略持续推进所带来的红利,聚集外来资本、高端人才、数字技术等优质环境治理要素,在高质量发展进程中逐渐形成相对完善的区域环境治理体系,呈现出显著的空间积聚现象。L-L 积聚则主要分布在经济欠发达的西部内陆省份,如云南、贵州、内蒙古、新疆、陕西、甘肃、青海、山西等省份,主要源于西部内陆省份绿色创新资源较之于东部沿海地区来说相对匮乏,区域生态环境治理体系和治理能力现代化的根基薄弱,加之对污染程度高、能源消耗大且生产技术落后为显著特征的传统工业的过度依赖,阻碍了西部内陆省份环境效率的有效提升。尽管伴随时间推移,区域环境效率的空间集聚类型出现不同程度的时空跃迁,但整体上我国环境效率空间集聚特征并未改变。

表 3 我国区域环境效率全局自相关指数

年份	Moran's I 指数	P-Value	年份	Moran's I 指数	P-Value
2007	0.533 9	0.001	2013	0.263 3	0.017
2008	0.468 2	0.001	2014	0.182 2	0.058
2009	0.384 1	0.003	2015	0.124 9	0.089
2010	0.233 3	0.026	2016	0.132 7	0.088
2012	0.194 9	0.048	2017	0.146 1	0.074

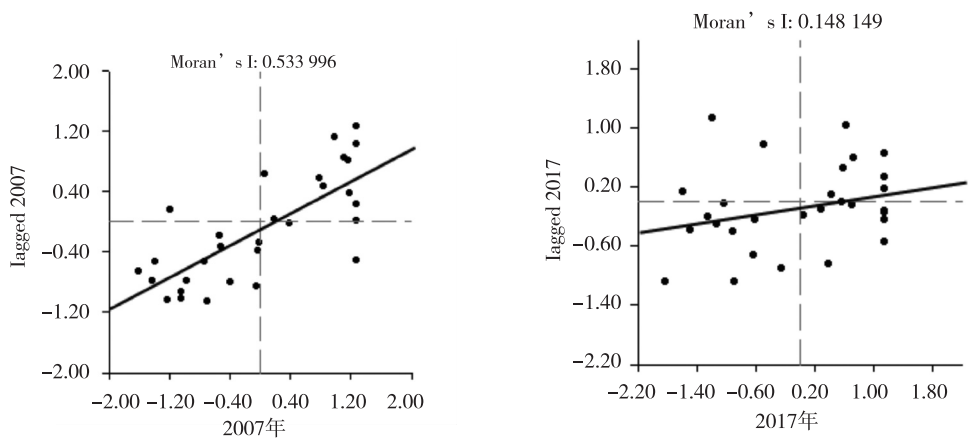


图 4 我国区域环境效率局部 Moran's I 散点图

(二) 区域环境效率影响因素的理论分析

环境规制是本文空间面板杜宾模型的核心解释变量。它是政府出于环境保护目的而对生态环境领域加以直接或间接干预的政策工具(赵玉民,2009)。^[38]“波特假说”认为恰当的环境规制能够提升企业的技术创新能力(Porter,1991)。^[39]根据政府环境规制的实施强度和执行方式,可以将环境规制分为强

制型、市场型和自愿型三种形态。^[40]理论上来说,环境规制通过激励企业选择环境友好型技术、提升资源能源使用效率、优化企业生产成本结构以及促进企业对公众绿色低碳产品需求回应等机制改善区域环境效率。但在规制程度、工具灵活性、规制范围、依赖环境等存在差异的情形下,不同类型的环境规制工具对区域环境效率的影响可能存在异质性。结合当前我国地方政府环境规制治理实践,分别用地区环保处罚案件数、地区排污费征收额以及各地区环境来访批次来刻画强制型、市场型和自愿型三种规制工具^[41]。由此,本文假设当前政府推行的环境规制工具整体上提升了区域环境效率,但不同类型的环境规制工具可能存在差异影响。

控制变量上,实证模型首先引入财政分权变量。当环境财政分权越高,地方政府对环境治理行为的自由裁量度就越高,地区之间围绕经济增长展开的破坏性竞争毫无疑问会导致环境的恶化(Oates 和 Schwab,1988)^[42],地方政府甚至可能为吸引新企业进行环境“竞次”竞争(Wildasin,1988)^[43]。同时,中国式财政分权事实上具有局部性和不完全性(周业安和章泉,2008)^[44],仍需要相应配套制度的改革。在此背景下,预计现有的财政分权对区域环境效率可能产生负向影响。为更好刻画地方政府的财政自主度,本文采用人均本级财政收入与人均全国财政收入的比值表示财政分权。其次是产业结构变量。第二产业是区域环境污染的主要来源,当其比重增加势必会导致资源能源消耗和污染物排放量增加,从而降低区域环境效率。这意味着产业结构对区域环境效率的影响可能为负。对产业结构变量,本文以第二产业增加值占国内生产总值的比重表示,用于刻画地方工业依赖或偏向程度。最后是城镇化变量。高质量新型城镇化可以促进优秀人才、资本、高新技术等优质要素积聚、发挥企业绿色技术创新的规模效应以及优化区域产业结构,进而高质量提升区域环境效率。因此,预计城镇化对区域环境效率产生正向效应。为刻画当前地区新型城市化进程,本文选择地区城镇人口与总人口的比值代表城镇化变量。

(三)空间计量回归结果与解释

从基于邻接权重矩阵的空间面板杜宾模型估计结果看(见表4),强制型环境规制对区域环境效率的影响在1%置信度水平下显著为正,这说明强制型环境规制显著提升了区域环境效率。这可能是因为立法或行政部门制定的环保法律、法规和技术标准,具有强制性、及时性和执行成本低等优势,提高了企业环境准入门槛,倒逼企业选择环境友好型技术并不断强化绿色技术创新。这在某种程度上验证了“波特假说”的存在性。

表4 空间杜宾模型面板回归结果

解释变量	空间滞后模型			空间杜宾模型		
	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
强制型环境规制	0.030 5***	2.576 8	0.001 0	0.040 7***	3.422 6	0.000 6
市场型环境规制	-0.015 7	-0.877 6	0.380 2	0.001 1	0.063 5	0.949 3
自愿型环境规制	0.049 8***	4.776 3	0.000 0	0.043 8***	4.327 3	0.000 0
财政分权	-0.490 4**	-2.314 0	0.020 7	-0.752 6***	-3.539 5	0.000 4
产业结构	-0.019 0	-0.114 1	0.909 1	-0.268 9	-1.623 1	0.104 6
城镇化	1.213 7***	5.692 1	0.000 0	1.685 6***	7.526 5	0.000 0
W * 强制型环境规制				0.030 9	1.173 8	0.240 5
W * 市场型环境规制				-0.053 9	-1.472 6	0.140 9
W * 自愿型环境规制				0.043 3*	1.862 5	0.062 5
W * 财政分权				0.286 1	0.622 6	0.533 6
W * 产业结构				-0.837 8	-2.410 1	0.015 9
W * 城镇化率				-1.158 8***	-2.630 7	0.008 5
W * 环境治理效率	0.295 0***	5.153 8	0.000 0	0.307 0***	4.729 4	0.000 0

市场型环境规制对区域环境效率的提升具有促进作用,但未通过显著性检验。排污费、使用者税费、财政补贴、排污许可证等市场型环境规制工具能够赋予企业更多的自主选择权,并依托市场自身的调节机制,补偿企业因保护环境而减少的生产效益,刺激企业采纳甚至发明更有效的减排技术,最大限度地达到污染减排的目的。但由于我国污染排放的市场机制整体上发展不充分,且区域间市场经济活跃程度存在空间不平衡,企业难以准确衡量污染排放成本。由此使得市场排污费征收工具未能显著提升区域环境效率。

自愿型环境规制对区域环境效率的影响在1%的置信度水平下显著为正,这说明当前以公众参与为核心的自愿型环境规制工具对环境效率的提升具有显著促进作用。公众参与环境治理是高质量发展和新发展理念下的必然结果,随着我国社会主要矛盾的变化,公众对优质生态产品的诉求更加强烈。采用自愿型环境规制工具可以更好地激发公众自发治理环境污染的动力,且能够有效减少政府行政监管成本,更大程度上满足公众的绿色消费需求(王红梅,2016)。^[45]为此,伴随生态环境“管理”向“治理”的变革,环境来访等参与式环境规制工具将更加有助于改善区域环境效率。

控制变量上,财政分权对区域环境效率的影响在1%的水平下显著为负,意味着中国特有的财政分权制度并未发挥环境效率的促进效应,同时说明财政分权制度正面效应的释放还依赖于行政管理体制、政府绩效考核机制等配套制度的改革。产业结构对区域环境效率的影响为负,但未通过显著性检验,说明其对区域环境效率的提升具有抑制作用。因此,未来如何优化地区产业结构、促进产业结构的合理化和高级化仍然是地方政府在高质量发展中面临的重要任务。但产业结构对区域环境效率的负向影响并不显著的特征在某种程度上也说明我国工业能源利用效率与绿色创新水平都有所改善。城镇化率对区域环境效率具有显著的正向影响,这与本文提出的理论假设一致。从这个角度来说,中国各区域已从传统的城镇化逐渐转入高质量新型城镇化阶段。

(四)空间溢出效应分解

表5呈现了环境规制对区域环境效率影响的效应分解结果。从中可以看出,强制型环境规制的直接效应和总效应分别在1%和5%的置信度水平显著为正。这表明强制型环境规制对本地区环境效率具有促进作用。如上所述,强制型环境规制的制定和实施都较为严格,可以有效降低环境污染,显著改善区域环境效率。强制型环境规制的间接效应为正但未通过显著性检验,说明强制型环境规制对相邻地区的环境效率具有不显著的正向影响。这可能是因为地方政府在环境规制制定与实施中的策略“模仿”行为使得对周边地区的环境效率产生正向溢出效应。但也有可能本地区环境技术标准提高促使未能达标的企业向低标准地区转移,产生污染跨区域扩散现象,由此导致强制型环境规制对于邻近地区环境效率的正向促进作用并不明显。

市场型环境规制的直接效应、间接效应与总效应系数均为负且都未通过显著性检验,说明市场型环境规制工具对本地区和相邻地区环境效率存在负向“遵从成本”效应。这可能是因为理性的企业会在环境成本与环境效益权衡比较下自由选择资源最优配置方案,当排污费、环境税征收使企业环境服从成本增加时,在一定程度上会制约企业绿色创新活动,利润最大化目标驱动企业增加产量以及污染物排放。这意味着未来市场激励性环境政策的设计应重点考虑排污费征收改革、环境税优化以及排污权市场交易机制完善等。

自愿型环境规制的直接效应、间接效应和总效应在1%或5%的置信度水平下显著为正,这表明在自愿型环境规制不仅对本地区环境效率具有显著正向作用,还能通过溢出效应影响邻近地区。自愿型环境规制体现社会主体的环境参与意愿和程度,新时代人们对美好生态环境的向往使其参与环境治理的意愿不断增强。当公众通过“用脚投票”机制在区域间流动时,自然会选择环境质量优质的地区,当适应地区良好生态环境后再转移到邻近地区的公众,也会对当地的环境质量提出同等或者更高的要求,这对于相邻地区的环境效率具有促进作用。

从控制变量来看,财政分权的直接效应通过了1%的显著性检验,这说明财政分权对本地区环境效率的提高产生显著抑制作用,其间接效应未通过显著性检验,则表明财政分权对相邻地区环境效率并不具有显著外溢效应。产业结构的直接效应、间接效应和总效应在1%及以上的置信度水平显著为负,表明产业结构对本地区及相邻地区环境效率提升具有抑制效应。伴随地区工业化进程的加快,能源消耗规模将持续增加,污染治理难度由此加大,从而导致地区环境效率下降。与此同时,工业生产集聚和扩大释放的污染物,可能向地理邻近的地区空间扩散,产生空间俱乐部趋同或是“涓滴”效应(吴伟平和何乔,2017)。^[46]这意味着未来应高质量协调推进区域特别是中西部地区产业的生态积聚,强化区域新型工业化道路。城镇化率的直接效应系数通过了1%的显著性检验,这说明本地区城镇化率的提高对环境效率具有显著促进作用。但其间接效应系数为负,表明城镇化率对相邻地区环境效率表现出负向空间外溢效应或“极化”效应。伴随地区新型城镇化的推进,更加注重资源的空间优化配置,强化基础设施建设、产业结构优化、公共服务供给以及生态环境保护的协同,将吸引邻近地区高质量劳动力、资本以及技术等要素向本地区流动。同时,本地区更高的环境标准也倒逼污染型企业向邻近地区转移。这无疑会进一步抑制相邻地区环境效率的改善。

表 5 空间溢出效应分解结果

解释变量	直接效应		间接效应		总效应	
	系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值
强制型环境规制	0.043 7 ***	0.001 9	0.057 2	0.135 6	0.100 9 **	0.033 3
市场型环境规制	-0.002 7	0.882 0	-0.070 7	0.154 9	-0.073 3	0.173 2
自愿型环境规制	0.048 9 ***	0.000 1	0.077 5 **	0.017 7	0.126 4 ***	0.000 8
财政分权	-0.752 1 ***	0.001 3	0.071 9	0.907 7	-0.680 2	0.329 4
产业结构	-0.344 3 *	0.061 9	-1.284 8 **	0.015 5	-1.629 1 ***	0.009 8
城镇化	1.643 0 ***	0.000 0	-0.867 9	0.134 8	0.775 2	0.223 0

五、研究结论与政策启示

文章利用契合高质量发展理念的多维投入产出指标体系对中国区域环境效率加以非参数测度,运用 Dagum 基尼系数、空间自相关和空间面板杜宾模型等方法,探究 2007–2017 年间中国区域环境效率的时空特征,并在空间关联检验基础上考察中国区域环境效率的空间效应和影响机理。研究结论和政策启示如下:

第一,中国区域环境效率呈现出整体改善且由东至西逐渐递减的空间不平衡分布特征。为化解中国区域环境效率的不充分、不平衡问题,各区域应结合资源禀赋、产业结构、区位优势、功能定位以及发展水平等因地制宜推进环境效率改善策略。西部地区在全国资源、能源和生态安全等方面具有重要战略地位,应持续扩大生态环境领域的投入规模并优化投入资源的运作效率,加快环境治理体制机制的创新。中部地区应该更好地发挥承东启西、连接南北的重要枢纽作用,推动经济社会绿色低碳转型,持续提升其环境承载能力,建设高质量现代化经济体系。东部地区要充分利用其雄厚资金、优质人才、政策红利和数字技术等多重优势,努力建设成为高质量绿色发展先行示范区。

第二,中国区域环境效率的空间差异在样本期内总体呈波动下降趋势。从三大区域来看,东部地区环境效率水平最高且较为稳定,地区内环境效率差异相对较小;中部和西部地区整体处于低水平不均衡状态,地区内差异波动幅度大且远高于东部地区。区域差异来源结构分解显示,区域间差异仍是导致我

国区域环境效率空间差异的主要根源,但区域内差异贡献和超密度贡献都呈上升之势。这意味着未来应创新向中西部地区倾斜的财政转移支付制度,引导东部地区优势治理资源与绿色产业向中西部地区转移,缩小区域间环境效率差异;同时强化区域内省域与城市间分工协作,充分发挥关键城市的辐射带动效应,引领共建环境治理基础设施,推进区域内生态环境的共治共享。

第三,中国区域环境效率存在显著的正向空间相关性和空间集聚特征,国家重要战略区域核心的东部沿海省份是典型的高环境效率区,而低环境效率区主要集中在欠发达的西部内陆省份。要将区域环境效率的空间集聚转变为空间协同,这就要求各区域根据生态资源、信息数据、资本技术等要素整合区域环境治理资源,并利用信息、组织、交通等多维网络连接通道,促进环境治理核心要素跨地区自由流动,发挥环境治理技术知识的集聚效应和外溢效应,从而突破科层制下的属地治理格局,增强东中西地区环境治理的互补性、协同性和融合性,统筹推动区域生态环境治理体系和治理能力的现代化建设。

第四,环境规制工具对区域环境效率的影响具有异质性。强制型环境规制和自愿型环境规制对区域环境效率的提升具有显著促进作用,而市场型环境规制的正向影响并不显著。自愿型环境规制还通过正向溢出效应影响邻近地区,强制型环境规制和市场型环境规制的溢出效应却不显著。这需结合区域实际情况实施差异化的环境规制工具,优化环境规制工具组合,市场化程度较低的省份特别是中西部内陆地区应切实转变政府职能,充分发挥排污费、环境税、排污权交易等市场激励型政策工具的“创新补偿”效应,协调推进经济高质量发展和生态环境高水平治理。

第五,城镇化显著促进中国区域环境效率,但财政分权和产业结构却阻碍了区域环境效率的提升。产业结构对邻近地区环境效率的改善存在抑制作用,而城镇化、财政分权对邻近地区的影响并不显著。未来应完善环境分权体制,明晰政府间环境治理责任,规范地方政府间“为增长而竞争”的行为,推动政府生态政绩的联动与差异考核;提升地区产业技术创新水平,促进地区产业结构“绿色”升级改造和工业生态化、专业化积聚,努力实现产业结构高级化与合理化;高质量建设低碳、高效、协调的新型城镇,持续深化城镇人口、资源、生态环境与经济的协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] 习近平. 决胜全面建成小康社会,夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[EB/OL](2017-10-27)(2021-10-28). http://www.gov.cn/zhuanti/2017-10/27/content_5234876.htm.
- [2] 国家统计局. 环境保护效果持续显现,生态文明建设日益加强——新中国成立70周年经济社会发展成就系列报告之五[EB/OL](2019-07-18)(2021-10-28). http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201907/t20190718_1677012.html.
- [3] Schmidheiny S. Changing course: A global business perspective on development and the environment[M]. MIT press, 1992.
- [4] Bleischwitz R. Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency[J]. Ecological Economics, 2003(3):453-467.
- [5] Aigner D J, Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production models[J]. Journal of Econometrics, 1977(6).
- [6] [10] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J]. European Journal of Operational Research, 1978(6).
- [7] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A K, Pasurka C. Multilateral Productivity Comparisons when Some Outputs Are Undesirable: A Nonparametric Approach[J]. Review of Economics and Statistics, 1989(1).
- [8] Chang Y T, Zhang N, Danao D, et al. Environmental efficiency analysis of transportation system in China: a non-radial DEA approach[J]. Energy Policy, 2013(9).
- [9] Zhou P, Poh K L, Ang B W. A Survey of Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Studies[J]. European Journal of Operational Research, 2008(1).

- [11] 郑尚植,宫芳. 中国式分权、地方官员自利行为与环境治理效率——基于 Dea-Tobit 面板数据的实证研究[J]. 上海经济研究,2015(4).
- [12] 任胜钢,蒋婷婷,李晓磊,袁宝龙. 中国环境规制类型对区域生态效率影响的差异化机制研究[J]. 经济管理,2016(1).
- [13] Camarero M, Castillo J, Picazo-Tadeo A J, et al. Eco-efficiency and convergence in OECD countries[J]. Environmental and Resource Economics, 2013(1).
- [14] 王连芬,戴裕杰. 中国各省环境效率及环境效率幻觉分析[J]. 中国人口·资源与环境,2017(2).
- [15] 马彦瑞,徐生霞,姜玉英. 中国环境效率的非参数测度与影响因素分析[J]. 统计与决策,2021(11).
- [16] 景晓栋,田泽,丁绪辉,闵义岚. 我国区域生态环境效率时空特征及影响因素——基于三阶段 DEA 模型分析[J]. 科技管理研究, 2020(14).
- [17] 杨俊,邵汉华,胡军. 中国环境效率评价及其影响因素实证研究[J]. 中国人口·资源与环境,2010(2).
- [18] 班斓等. 中国环境污染的区域差异与减排路径[J]. 西安交通大学学报(社会科学版). 2018(3).
- [19] 杨桐彬等. 长三角城市生态效率的地区差异与空间收敛[J]. 华东经济管理,2020(7).
- [20] 杨万平,李冬. 中国生态全要素生产率的区域差异与空间收敛[J]. 数量经济技术经济研究,2020(9).
- [21] [31] Dagum C. A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio[J]. Empirical Economics,1997(4).
- [22] 黎智慧等. 基于 Dagum 方法的能源基尼系数测算与分解[J]. 统计与决策,2019(19).
- [23] 郑石明,罗凯方. 大气污染治理效率与环境政策工具选择——基于 29 个省市的经验证据[J]. 中国软科学,2017(9).
- [24] 韩晶,陈超凡,施发启. 中国制造业环境效率、行业异质性与最优规制强度[J]. 统计研究,2014(3).
- [25] Hettige H,Mani M,Wheeler D. Industrial Pollution in Economic Development:the Environmental Kuznets Curve Revisited[J]. Journal of Development Economics,2000(2).
- [26] 杨冕,晏兴红,李强谊. 环境规制对中国工业污染治理效率的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境,2020(9).
- [27] 张子龙等. 中国工业环境效率及其空间差异的收敛性[J]. 中国人口·资源与环境,2015(2).
- [28] 沈能. 环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验[J]. 中国工业经济,2012(3).
- [29] Farrell M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society,1957(3).
- [30] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984(9).
- [32] Anselin L. Spatial econometrics: methods and models[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1988.
- [33] 田秋生. 高质量发展的理论内涵和实践要求[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版),2018(6).
- [34] 刘志彪. 理解高质量发展:基本特征、支撑要素与当前重点问题[J]. 学术月刊,2018(7).
- [35] 张军扩等. 高质量发展的目标要求和战略路径[J]. 管理世界,2019(7).
- [36] 金碚. 关于“高质量发展”的经济学研究[J]. 中国工业经济,2018(4).
- [37] 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).
- [38] 赵玉民,朱方明,贺立龙. 环境规制的界定、分类与演进研究[J]. 中国人口·资源与环境,2009(6).
- [39] Porter M. E. . America's green strategy[J]. Scientific American,1991(4).
- [40] 郑石明,罗凯方. 大气污染治理效率与环境政策工具选择——基于 29 个省市的经验证据[J]. 中国软科学, 2017(9).
- [41] 官永彬,李玥. 长江经济带环境治理效率的实证测度与影响因素研究[J]. 重庆师范大学学报(社会科学版),2021(1).
- [42] Oates Wallace E. ; Schwab Robert M. Economic competition among jurisdictions: efficiency enhancing or distortion inducing? [J] Journal of Public Economics,1988(3).

- [43] Wildasin David E. Nash equilibria in models of fiscal competition[J]. Journal of Public Economics, 1988, (2).
- [44] 周业安, 章泉. 财政分权、经济增长和波动[J]. 管理世界, 2008(3).
- [45] 王红梅. 中国环境规制政策工具的比较与选择——基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(9).
- [46] 吴伟平, 何乔. “倒逼”抑或“倒退”? ——环境规制减排效应的门槛特征与空间溢出[J]. 经济管理, 2017(2).

Study on Empirical Measurement, Temporal-spatial Characteristics and Influencing Factors of Regional Environmental Efficiency under High-quality Development in China

Guan Yongbin Xie Zhenglei

(college of geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In accordance with the concept of high-quality development, this paper measures China's regional environmental efficiency, and uses dagum Gini coefficient, spatial autocorrelation and spatial panel Dobbins model to explore the temporal-spatial characteristics and impact mechanism of regional environmental efficiency. The results showed: (1) The regional environmental efficiency improved as a whole and showed a spatial imbalance distribution, but the spatial difference showed a downward trend, and the regional difference was still the main source of the spatial difference. (2) Regional environmental efficiency has significant spatial agglomeration characteristics. High efficiency areas are mainly concentrated in the eastern coastal provinces, while low efficiency areas are distributed in the western inland provinces. (3) Compulsory environmental regulation, voluntary environmental regulation and urbanization can significantly promote the improvement of regional environmental efficiency. Fiscal decentralization inhibits the improvement of regional environmental efficiency, and the positive impact of market-oriented environmental regulation is not significant. Voluntary environmental regulation has positive spatial spillover effect, while industrial structure shows negative spatial spillover effect.

Keywords: high quality development; environmental efficiency; temporal-spatial features; spatial panel Dobbins model

[责任编辑:左福生]