

资源型城市转型效率时空格局及影响因素探析：以陕甘宁能源富集区为例

方杰¹, 罗安梦¹, 施琳娜¹, 丁金梅¹, 吴昕燕¹, 文琦^{2*}

1. 宁夏大学 地理科学与规划学院, 银川 750021
2. 宁夏大学 建筑学院, 银川 750021

摘要：基于数据包络分析、标准差椭圆和地理探测器方法，引入产业多样化指数和产业专业化指数，综合探讨陕甘宁资源型城市的转型效率、时空格局及其影响因素，得到2011—2020年陕甘宁资源型城市转型绩效综合得分及分布、不同发展阶段资源型城市转型绩效以及三省区各自资源型城市的转型绩效。结果表明：（1）2011—2020年陕甘宁资源型城市转型效率具有显著的时间和空间差异。（2）研究期内陕甘宁资源型城市转型效率空间分布格局基本保持稳定，仍以东西方向为主导。（3）地方财政一般预算内支出、城市建设用地面积、地区生产总值是影响资源型城市转型效率空间分异的主导因子。揭示了研究区资源型城市转型效率的发展演变态势及驱动因素，可为其持续优化转型提供决策依据。
关键词：资源型城市；转型效率；时空格局；影响因素；陕甘宁地区

Spatial-temporal pattern and influencing factors of transformation efficiency of resource-based cities: a case study in Shaanxi-Gansu-Ningxia energy rich area

FANG Jie¹, LUO Anmeng¹, SHI Linna¹, DING Jinmei¹, WU Xinyan¹, WEN Qi^{2*}

1. School of Geography and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China
2. School of Architecture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: Background, aim, and scope The transformation of resource-based cities is imminent. However, the complexity of the transformation makes the resource-based cities face many difficulties. Understanding the transformation ability, effectiveness, and efficiency of resource-based cities in Shaanxi, Gansu, and Ningxia and analysing the influencing factors could help to provide a reference for further transformation planning. **Materials and methods** Based on the data envelopment analysis, standard deviation ellipse, and geographical detector method, this paper introduces the industrial diversification and specialization indices to comprehensively explore the transformation efficiency, spatial-temporal pattern, and influencing factors of resource-based cities in Shaanxi, Gansu, and Ningxia. **Results** The comprehensive efficiency of the transformation of resource-based cities in the three provinces varied significantly during the study period. The efficiency of transformation in the

收稿日期：2023-04-10；录用日期：2023-08-07；网络出版：2023-08-26

Received Date: 2023-04-10; Accepted Date: 2023-08-07; Online first: 2023-08-26

基金项目：国家自然科学基金项目（42271221，42061037）

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (42271221, 42061037)

通信作者：文琦，E-mail：wenq98@163.com

Corresponding Author: WEN Qi, E-mail: wenq98@163.com

引用格式：方杰，罗安梦，施琳娜. 2023. 资源型城市转型效率时空格局及影响因素探析：以陕甘宁能源富集区为例 [J]. 地球环境学报, 14(6): 763–773.

Citation: Fang J, Luo A M, Shi L N. 2023. Spatial-temporal pattern and influencing factors of transformation efficiency of resource-based cities: a case study in Shaanxi-Gansu-Ningxia energy rich area [J]. *Journal of Earth Environment*, 14(6): 763–773.

three provinces decreased, showing an inverted V-shaped evolution pattern. There are significant differences in the transformation scale efficiency evolution modes of resource-based cities in the three provinces. Since 2011, the centre of gravity of transformation efficiency has moved further to the eastern region with high science and technology investment level and resource utilization rate, but the spatial distribution is slowly dispersing. The spatial spillover effect of transformation efficiency can be observed. The spatial distribution pattern is still dominated by the east-west direction, while the influence of the north-south direction is growing slowly.

Discussion During the study period, the transformation efficiency of resource-based cities varied significantly with time and space, mainly due to the long-term nature of technological and industrial succession. The elliptical centre of the gravity of transformation efficiency shifted to the eastern region. However, the speed and distance of the shift showed a decreasing trend, with the spatial distribution pattern remaining stable. The level of economic operation and factor input play a leading role in the spatio-temporal differentiation of transformation efficiency of resource-based cities. “The basic role of resource conservation and environmental friendliness and the leading role of economic operation and factor input” was the internal driving mechanism of the spatio-temporal differentiation of the transformation efficiency of resource-based cities during the study period. **Conclusions** The results show that: (1) there are significant temporal and spatial differences in the transformation efficiency of resource-based cities in the Shanxi-Gansu-Ningxia region from 2011 to 2020; (2) the spatial distribution pattern of transformation efficiency in Shaanxi-Gansu-Ningxia resource-based cities during the study period remained stable, dominated by the east-west direction and dispersing slowly; (3) local budget expenditure, urban construction land area, and gross regional product are the main factors affecting the spatial differentiation of transformation efficiency of resource-based cities in the study areas. **Recommendations and perspectives** There is a need to (1) boost the growth of non-resource industries and get rid of path dependence, (2) strengthen government guidance and adjust the investment structure, (3) improve the business environment and promote investment, (4) intensify land use and optimise the spatial pattern, and (5) recognize the importance of talent introduction and optimising growth.

Key words: resource-based city; transformation efficiency; spatio-temporal pattern; influencing factors; Shaanxi-Gansu-Ningxia region

资源型城市是我国城市体系中典型的城市类型。陕甘宁能源富集区依托黄河水利优势，宁东的资源优势，陕西的科技支撑及工业基础等优势，谋划布局了一大批能源化工产业园区和产业项目，成为我国重要的能源资源保障基地。但与此同时，能源产业在支撑本地区快速发展的同时，也使其经济发展呈现较为突出的资源依赖型特征，面临经济增长和碳减排双重压力（窦睿音等，2023）。中共十九届四中全会强调“稳增长、促改革、调结构、惠民生、防风险、保稳定”，2020年5月发布的《中共中央、国务院关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》提出推动西部地区高质量发展，加快推进西部地区绿色发展，党的二十大报告提出“加快发展方式绿色转型”、“积极稳妥推进碳达峰、碳中和”，均表明资源型城市转型迫在眉睫，且面临着新的机遇与挑战。

现有资源型城市转型相关研究主要包括三个方面。第一是资源型城市研究内涵的延伸拓展。Innis用“飓风”（cyclone）描述产业结构单一城市依靠资源开发快速成长，后又随资源枯竭而衰落的过程，标志着资源型城市研究的开端（Brady，1953）。而后研究人员将资源型城镇划分为建设期—发展期—转型期—成熟期—衰退期—关闭期，为处于不同时期资源型城市转型发展制定针对性政策提供了理论指导（Lucas，1971；Bradbury and St-Martin，1983）。国内较晚对资源型城市的概念进行首次界定，强调研究煤矿城市之间具有的共同特点，为国内资源型城市发展研究奠定了理论基础（李文彦，1978）。近年来，资源型城市内涵研究逐渐从单纯经济层面向环境、社会、可持续发展等多层面逐步拓展，开始注重对资源型城市的生态环境保护、产业转型升级、可持续发展路径等的研究（姜国新和刘帅，

2020)。资源型城市转型的概念和内涵仍处于不断丰富过程中。第二是对资源型城市转型水平测度。当前已将丰富的方法模型运用到各尺度的测度中,包括运用非径向的SBM模型与Sequential Malmquist指数模型深入分析单一省份煤炭资源型城市的环境效率与环境生产率(李德山等,2021),分析多省份区域例如东北地区的转型绩效,以及从全国尺度上对我国114个资源型城市的转型绩效进行综合评价(谭俊涛等,2020)。另外,部分学者采取主成分分析法(王军和耿建,2012;杨建林等,2018)、生态足迹法(方磊等,2015)、灰色关联分析法(程鹤,2019)等评价资源型城市转型发展。第三是影响因素及机制分析,当前的研究已综合了能源、经济、环境、科技、社会等多方面。资源型城市发展过程中往往依靠资源的获取,如果企业能够获得更多的资源,就能够推动当地城市的发展,对于劳动力的需求往往也受此影响(Randall and Ironside, 1996)。资源禀赋上升会抑制资源型城市产业结构的高级化和合理化(李虹和邹庆,2018)。通过技术创新能避免资源依赖,实现可持续发展(Frankel, 2012)。人均GDP也会对城市的转型发展产生阻碍(任嘉敏和马延吉,2020)。在高质量发展中,政府发挥着重要作用,尤其是西部地区在很大程度上依赖政府扶持(金碚,2018)。

对资源型城市转型以及绩效评价的大量研究与应用,能够为转型工作的开展提供指导,也为后续的研究奠定了基础,但目前已有研究侧重于从全国总体层面或针对资源衰竭区进行分析,对以成长、成熟型城市为主、仍然保持资源高输出地区的研究较少。而陕甘宁地区长久以来都是我国重要的能源产出区,14个资源型城市坐落于此,且囊括了四种发展阶段,有利于对资源型城市的综合研究和对比分析,鉴于此,本文选择对陕甘宁地区的资源型城市进行转型效率分析,并探讨影响其时空格局的因素。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

陕甘宁能源富集区地处广袤的黄土高原和鄂尔多斯南部,位于 $93^{\circ}-112^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}-42^{\circ}\text{N}$ 。行政区域主要包括陕西省的榆林市、延安市、铜川市、咸阳市、渭南市、宝鸡市,甘肃省的庆阳市、平凉市、陇南市、白银市、武威市、金昌

市、张掖市,以及宁夏回族自治区的石嘴山市。该区域能源矿产资源富集,国家“十二五”规划已将该区域划定为国家重要能源化工基地,当前,依托该定位的众多资源型城市正面临着转型的迫切要求。

1.2 数据包络分析

数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)是用线性规划模型来评价具有相同类型的多投入和多产出的决策单元(decision making unit, DMU)是否具有技术有效和规模有效的一种非参数统计方法(陶卓民等,2010)。其基本思路是把每个评价单位作为一个决策单元,通过比较同一时间点不同决策单元加权的投入、产出数量,确定有效生产前沿,再通过衡量各决策单元与最佳前沿之间的差距,进而确定各个决策单元的技术效率和规模效率。对资源型城市转型效率的测度主要采用评价技术有效和规模有效的 C^2R 模型(文琦等,2022),表达式为:

$$\begin{aligned} \min & [\theta - \varepsilon \times (\sum_{z=1}^m S^+ + \sum_{a=1}^o S^-)] \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1}^n \lambda_j \times x_{ak} + S^- = \theta \times x_{ak}, a=1, 2, 3, \dots, n \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_j \times y_{zk} - S^+ = y_{zk}, z=1, 2, 3, \dots, n \\ & \lambda_j \geq 0, j=1, 2, 3, \dots, n; S^+ \geq 0; S^- \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: θ 表示决策单元的有效值; ε 为非阿基米德无穷小; S^+ 和 S^- 是松弛变量,分别表示投入过剩和产出不足, m 和 o 分别表示每个决策单元下投入指标和产出指标的个数; λ_j 表示投入产出指标的权重系数; x_{ak} 、 y_{zk} 分别表示第 k 个决策单元中第 a 个投入量和第 z 个产出量; n 表示决策单元的个数。

1.3 标准差椭圆

标准差椭圆(standard deviational ellipse, SDE)是一种表征地理要素空间方向分布特征的分析方法,能够精确地揭示地理要素空间分布格局多方面的特征(Peng et al., 2016)。通过重心坐标、旋转角、沿长轴的标准差和沿短轴的标准差4个基本要素,分析影响资源型城市转型空间分布格局的相对位置、发展的主要趋势方向及在主要方向和次要方向上的离散程度。

1.4 地理探测器

地理探测器是通过提出因子力度量指标,结合

GIS 空间叠加技术和集合论, 识别多因子之间交互作用的模型 (王劲峰和徐成东, 2017), 其基本原理是认为不同空间位置的地理事物, 制约其发展变化的因素具有差异性, 若因素在空间上同被解释变量的变化表现显著一致, 即该因素对被解释变量的地理空间分布贡献显著 (Wang et al., 2021)。在资源型城市转型效率测度基础上运用该模型来探测各驱动因素的强度差异及其变化, 寻找主导因素, 理论模型如下 (张荣天等, 2022):

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{N' \times \sigma_H^2} \times \sum_{W=1}^m n_{D,W} \times \sigma_{H(D,W)}^2 \quad (2)$$

式中: $P_{D,H}$ 为影响因子 D 对资源型城市转型效率水平 H 影响力; σ_H^2 表示资源型城市转型效率水平方差; $\sigma_{H(D,W)}^2$ 为市域 W 资源型城市转型效率水平方差; N' 为样本数。 $P_{D,H}$ 取值范围为 $[0, 1]$, $P_{D,H}$ 值越大, 表明该因素对资源型城市转型效率影响越大。同时, 地理探测器模型中交互作用探测通过计算两种因子 $X1$ 和 $X2$ 对 Y 的 q 值: $q(X1)$ 和 $q(X2)$, 并计算它们交互时的 q 值: $q(X1 \cap X2)$, 再

将 $q(X1)$ 、 $q(X2)$ 与 $q(X1 \cap X2)$ 进行比较, 可以分析不同影响因子间的相互作用, 评估相互作用是否会增强或减弱对地理要素空间分异的影响程度。

1.5 指标体系构建

根据《全国资源型城市可持续发展规划 (2013—2020 年)》, 结合现有相关研究成果, 从投入产出两方面入手, 考虑数据的可获得性以及研究方法的要求, 构建资源型城市转型效率评价指标体系 (表 1)。投入方面, 考虑到陕甘宁能源富集区资源型城市的资源禀赋、政府作用以及环境约束, 选取资金投入、土地投入、劳动力投入和环境成本 4 类指标, 反映转型过程中各城市受投入要素的拉动和限制状况。产出方面, 考虑到转型对城市发展水平、产业结构调整 and 环保绿化的影响, 选取经济运行、产业转型、绿色建设以及污染防治 4 类指标, 反映转型在各方面产生的成效。其中, 产业转型是资源型城市转型的关键环节, 因此引入产业专业化和多样化指数进行更全面地评价。

表 1 资源型城市转型效率测度指标体系

Tab. 1 Measurement index of transformation efficiency of resource-based cities

指标类型 Index type	一级指标 First-order index	二级指标 Secondary index	指标属性 Index attribute	代号 Code name
投入指标 Input index	资金投入 Capital input	地方财政一般预算内支出 / 万元 Expenditure within the general budget of local finance / 10^4 yuan	正 Positive	X1
	土地投入 Land input	城市建设用地面积 Urban construction land area / km^2	正 Positive	X2
	劳动力投入 Labor input	二、三产业员工增长率 Growth rate of employees in secondary and tertiary industries / %	正 Positive	X3
	环境成本 Environmental cost	单位 GDP 工业烟 (粉) 尘排放量 / ($\text{t} \cdot \text{亿元}^{-1}$) Industrial smoke (dust) emission per unit GDP / ($\text{t} \cdot 10^8 \text{ yuan}^{-1}$)	负 Negative	X4
			单位 GDP 工业废水排放量 / ($\text{t} \cdot \text{亿元}^{-1}$) Industrial wastewater discharge per unit GDP / ($\text{t} \cdot 10^8 \text{ yuan}^{-1}$)	负 Negative
产出指标 Output index	经济运行 Economic operation	地区生产总值 / 亿元 Gross regional product / 10^8 yuan	正 Positive	Y1
	产业转型 Industrial transformation	产业专业化指数 Industrial specialization index	正 Positive	Y2
		产业多样化指数 Industrial diversification index	正 Positive	Y3
	绿色建设 Green construction	建成区绿化覆盖率 Green coverage rate of built-up area / %	正 Positive	Y4
	污染防治 Pollution prevention and control	污水处理率 Sewage treatment rate / %	正 Positive	Y5

产业专业化是指某一产业在区域内集聚, 生产更为细化, 技术水平不断提高 (李连刚等, 2021)。产业专业化指数计算公式如下:

$$K_i = \sum_{j=1}^m |V_{ij} - V_{nj}| \quad (3)$$

式中: K_i 是克鲁格曼指数; V_{ij} 表示 i 城市第 j 行业

的单位就业人员数占区域总单位就业人员数的比重; V_{mj} 表示国家第 j 行业的单位就业人员数占总单位就业人员数的比重; m 为行业数。 K_i 值越大, 表明该城市产业专业化程度越高。

产业多样化是指众多关联产业集聚, 产业链持续完善, 发展稳定性不断提高。产业多样化指数计算公式如下:

$$E_i = \sum_{j=1}^m S_{ij} \times \ln \frac{1}{S_{ij}} \quad (4)$$

式中: E_i 是熵指数; S_{ij} 表示 i 城市第 j 行业的单位就业人员数占区域总单位就业人员数的比重; E_i 值越大, 表示区域产业多样化水平越高。

1.6 数据来源

以陕西、甘肃、宁夏 14 个资源型城市作为研究样本, 选取 2011—2020 年的面板数据对转型效率进行综合评估。同时选取 2011、2014、2017、2020 年 4 个时间断面分析资源型城市转型效率的时空格局。文中所用数据均来自 2011—2020 年《中国城市统计年鉴》《陕西统计年鉴》《甘肃发展年鉴》《宁夏统计年鉴》等, 部分数据是自行整理计算后所得结果, 另有个别年份数据缺失采用相邻年份值利用插值法获取。

2 结果分析

2.1 资源型城市转型效率分析

2.1.1 转型综合效率分析

三省区资源型城市转型综合效率在研究期内具有显著的时空变化差异(图 1、图 2)。转型综合效率体现了将资源投入转化为转型效益的能力, 通过计算发现: 2011、2014、2017、2020 年转型综合效率平均值分别为 0.638、0.582、0.700、0.548, 即达到 DEA 最佳前沿面的 63.8%、58.2%、70.0% 和 54.8%。其中, 甘肃资源型城市总体呈缓慢下降趋势, 其转型综合效率由 2011 年的 0.487 下降到 2020 年的 0.293, 降幅为 39.85%, 资源配置合理性与转型效益转化能力相对较低。陕西资源型城市转型综合效率在 2011—2017 年略有上升, 但 2017—2020 年有所下降, 总体上 2020 年较 2011 年下降了 9.85%。宁夏资源型城市在 2014—2017 年转型综合效率快速上升, 但 2017—2020 年快速下降到 2011 年的转型综合效率水平。从各省区内部来看(图 2), 陕西榆林市、宝鸡市、咸阳市转型综合效率相对突出, 多数城市在 2011、

2020 年呈较低水平, 凸显出省内城市间转型综合效率差异较大的特征, “木桶效应” 明显; 甘肃资源型城市转型综合效率总体处于较低水平, 但低位城市转型综合效率与省内其他城市差距相对较小; 宁夏资源型城市转型综合效率在 2017 年达到最高, 随时间推移波动较大, 但普遍达到最佳前沿面的 50% 以上, 整体呈中高位运行趋势。

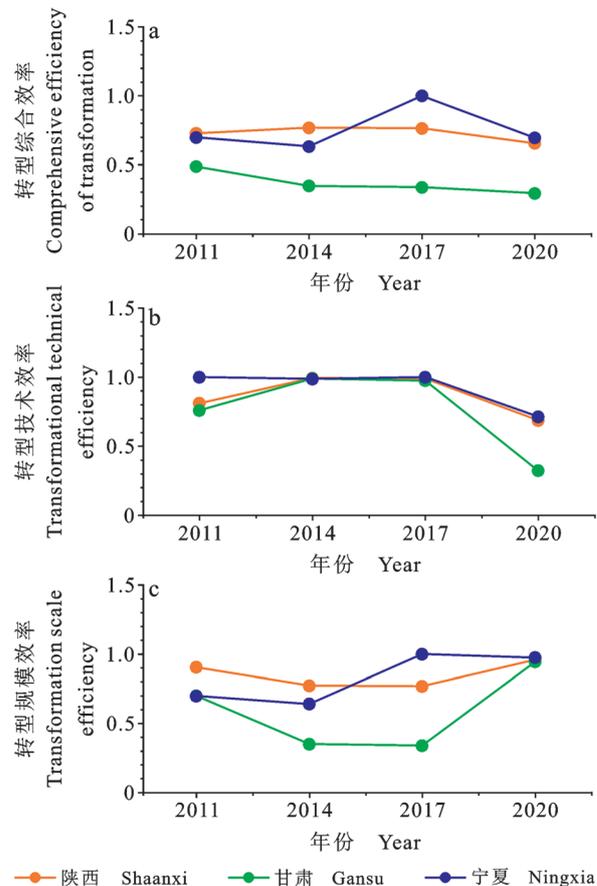


图 1 陕甘宁资源型城市转型效率
Fig. 1 Transformation efficiency of Shaanxi-Gansu-Ningxia resource-based cities

2.1.2 转型技术效率分析

2011—2020 年三省区资源型城市转型技术效率均总体下降, 总体呈倒“V”型演变格局(图 1)。转型技术效率体现了投入资源要素的合理化配置、利用水平。2011—2014 年, 宁夏资源型城市转型技术效率保持高位, 陕西和甘肃资源型城市转型技术效率有明显提升, 增幅分别为 22.47% 和 30.40%。2017—2020 年甘肃转型技术效率下降尤为明显, 降幅达到 66.87%, 陕西、宁夏降幅分别为 30.57%、28.70%。表明陕甘宁三省区资源

型城市转型技术效率改善后劲不足。从省区内部来看（图 2），渭南市、咸阳市、榆林市、宝鸡市、金昌市、石嘴山市等区域核心城市转型技术效率始终达到最佳前沿面的 50% 以上，且在研究时段内变化幅度相对较小，具有较强的稳定性。

2.1.3 转型规模效率分析

陕甘宁三省区资源型城市转型规模效率演变模式存在较大差异（图 1）。转型规模效率体现了资源型城市转型的规模集聚水平，2011—2020 年三省区转型规模效率总体均上升，陕西、甘肃、宁夏的增幅分别为 5.95%、35.05%、39.69%。但三省区均在 2011—2014 年出现不同幅度的下降，陕西和甘肃在 2014—2017 年略有下降，但同期宁夏则出现了显著上升。2017—2020 年情况相反，宁夏略有降低，陕西和甘肃显著上升呈“V”型演变格局。从各省区内部来看，除了榆林市、宝鸡市、咸阳市、金昌市、石嘴山市在 2011—2020 年间转型规模效率保持高位运行，但其他资源型城市转型规模效率仍然偏低（图 2）。

2.2 资源型城市转型效率时空变化及预测

通过对陕甘宁资源型城市转型效率测度可知，省区间、城市间及不同时段均存在较大的差异。因此，为能够深入了解资源型城市转型效率的空间分布格局特征，揭示其未来发展规律，制定相应的转型效率提升措施，需要对转型效率的空间分布格局状况及未来发展趋势进一步分析。

根据 2011—2015 年陕甘宁资源型城市转型效率值，应用 ArcGIS 10.6 软件得到资源型城市转型效率标准差椭圆的相关参数，如表 2 所示。在此基础上计算得到其重心移动方向、移动距离（东西向和南北向）、形状指数（短半轴与长半轴之比）等，从而判断研究区内转型效率高地的移动，以及转型效率高地的集聚程度，进一步判断资源型城市转型效率空间分布格局。

2.2.1 空间分布重心变化

研究期内资源型城市转型效率空间分布格局的重心移动路径经历了“东（2011—2014 年）—西北（2014—2017 年）—东南（2017—2020 年）”的变化，总体呈现向东南方向移动的趋势。从移动速度来看，2011—2014 年重心向东快速移动（表 2），速度为 $12.69 \text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$ ；2014—2017 年重心向西北方向移动，速度为 $5.21 \text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$ ，相比 2011—2014 年，该时期内重心东西向移动速度呈减缓趋势，南北向移动速度则大幅度提升；2017—2020 年重心东西向移动速度呈减缓趋势、南北向移动速度略有提升，期间内重心向东南方向移动，速度为 $4.84 \text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$ 。总体来看，重心移动速度呈现“快—慢—慢”的过程，2011 年以来

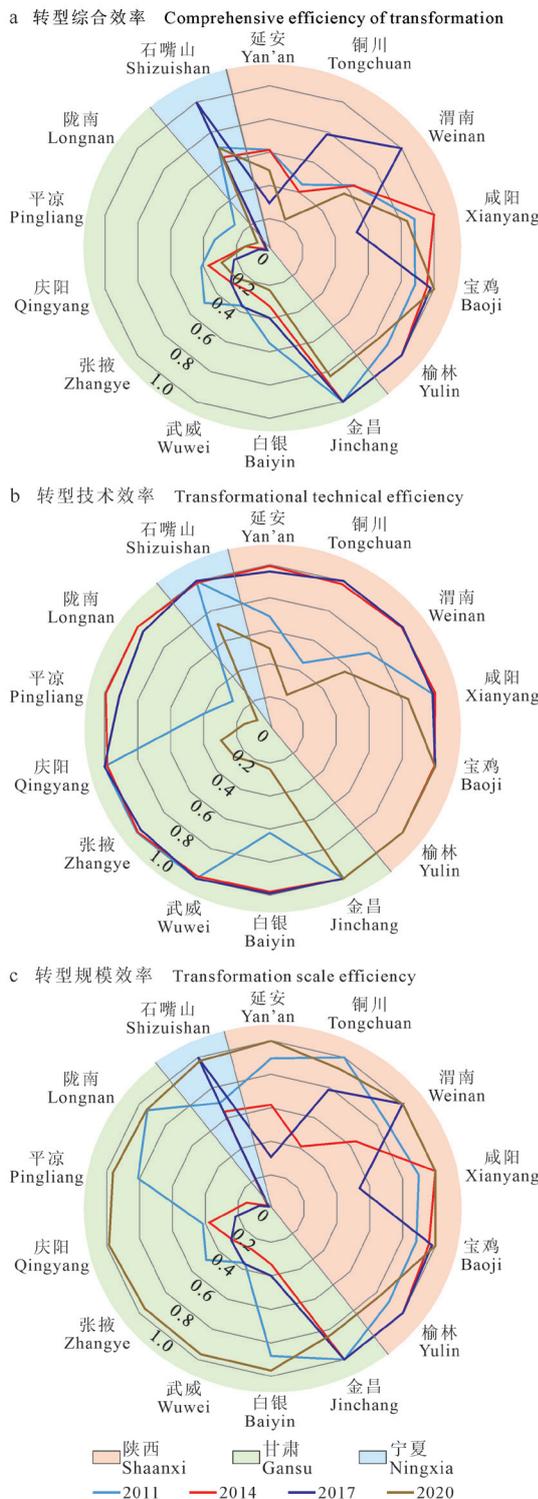


图 2 不同城市转型效率变化示意图
Fig. 2 Transformation efficiency change of different cities

转型效率重心进一步向东部科技投入水平及资源利用率较高的地区移动,但移动速度、移动距离均呈减小态势。

2.2.2 空间分布范围变化

标准差椭圆面积反映开放型经济的空间集聚状态,椭圆面积越小,说明集聚性越强。长、短轴方向分别表示资源型城市转型效率在空间上的离散程度,长、短轴比值反映转型效率的空间分布形态,比值越接近1,空间分布越趋于均质。根据表2,资源型城市转型效率标准差椭圆分布范围在2011—2014年呈下降趋势,该阶段标准差椭圆平均面积为 $2.83 \times 10^5 \text{ km}^2$,同时长半轴与短

半轴分别由2011年的444.57 km、217.89 km缩短至2014年的435.14 km、214.75 km。说明2011—2014年资源型城市转型效率的空间分布略有集中,虽然东西方向为转型效率空间分布的主轴方向,但主轴缩短,南北方向的发展愈加明显。2014—2020年标准差椭圆分布范围呈现上升趋势,平均面积 $2.82 \times 10^5 \text{ km}^2$,长半轴由2014年的435.14 km降至研究末期的425.33 km,短半轴则由214.75 km上升至225.16 km,说明该阶段资源型城市转型效率的空间分布缓慢分散,空间分布格局仍以东西方向为主导,南北方向的影响缓慢加强。

表2 陕甘宁资源型城市转型效率标准差椭圆参数

Tab. 2 The standard deviation ellipse parameter of transformation efficiency of resource-based cities in Shaan-Gansu-Ningxia

年份 Year	重心经度 Longitude of gravity center/(°)	重心纬度 Latitude of gravity center/(°)	椭圆面积 Area of the ellipse / 10^5 km^2	长半轴长度 Semi-major axis /km	短半轴长度 Semi-minor axis /km	旋转角 Rotation angle /(°)
2011	106.536	36.487	2.88	444.57	217.89	113.05
2014	106.917	36.488	2.78	435.14	214.75	113.91
2017	106.810	36.603	2.82	440.54	215.23	115.44
2020	106.873	36.472	2.85	425.33	225.16	115.06

2.2.3 空间旋转角变化

空间旋转角表示资源型城市转型效率的分布方向。研究期内旋转角的变化范围在 113.05° — 115.44° 。研究初期旋转角由2011年的 113.05° 扩大到2014年的 113.91° ,此时资源型城市转型效率空间分布格局呈现西北—东南走向,这得益于西部地区环保投入的边际效应的显现,而后2017年旋转角显著增大至 115.44° ,2020年缩小至 115.06° ,此时转型效率空间分布格局较2011年呈偏北—偏南格局,转型效率空间分布格局基本保持稳定。

2.3 资源型城市转型的影响因子探测

2.3.1 因子探测

运用地理探测器模型中的因子探测方法得到2011—2020年各影响因素对陕甘宁资源型城市转型效率空间分异的 q 值大小,若 q 值越大则说明该因素对资源型城市转型效率空间分异的影响贡献率越大。同时,将因子探测的 q 值从大到小进行排序,用来比较各影响因子在不同时期对资源型城市转型效率影响程度及变化特征。

通过表3可知:2011、2014、2017、2020年4个时间断面对资源型城市转型效率空间分异影响较大的因子($q > 0.4$)为:地方财政一般预算内支

出>城市建设用地面积>地区生产总值。

2.3.2 交互探测

资源型城市转型效率时空分异不仅受到单一因素影响作用,更是多种影响因素交互作用的结果。为了深入挖掘资源型城市转型效率双驱动因素间交互关系,采用地理探测器模型中的交互探测方法,分析影响因素交互作用对资源型城市转型效率空间分异影响程度(图3)。

(1)总体上,2011、2014、2017、2020年4个时间断面两两因素之间交互作用对资源型城市转型效率空间分异的影响均表现出增强关系,表明两两影响因素之间交互作用会增强对资源型城市转型效率时空分异的解释力度。由此可见,资源型城市转型效率时空分异是多影响因素交互作用的结果。

(2)在交互影响差异上,2011、2014、2017、2020年4个时间断面地区生产总值、地方财政一般预算内支出及城市建设用地面积与其他因子的交互作用 q 值均超过了0.6,进一步验证了地区生产总值、地方财政一般预算内支出及城市建设用地面积是影响资源型城市转型效率分异的主导因子。

表 3 陕甘宁资源型城市转型效率影响因子 q 值Tab. 3 The q value of influencing factor of transformation efficiency in Shaanxi-Gansu-Ningxia resource-based cities

因子 Factor	2011	2014	2017	2020	均值 Mean value
地区生产总值 / 亿元 Gross regional product / 10^8 yuan	0.435	0.477	0.537	0.527	0.494
产业专业化指数 Industrial specialization index	0.214	0.603	0.565	0.391	0.443
产业多样化指数 Industrial diversification index	0.206	0.748	0.287	0.532	0.443
建成区绿化覆盖率 Green coverage rate of built-up area / %	0.449	0.296	0.421	0.540	0.426
污水处理率 Sewage treatment rate / %	0.480	0.428	0.469	0.360	0.434
地方财政一般预算内支出 / 万元 Expenditure within the general budget of local finance / 10^4 yuan	0.846	0.823	0.742	0.410	0.705
城市建设用地面积 Urban construction land area / km^2	0.707	0.619	0.601	0.577	0.626
二、三产业员工增长率 Growth rate of employees in secondary and tertiary industries / %	0.389	0.313	0.505	0.397	0.401
单位 GDP 工业烟(粉)尘排放量 / ($\text{t} \cdot \text{亿元}^{-1}$) Industrial smoke (dust) emission per unit GDP / ($\text{t} \cdot 10^8 \text{ yuan}^{-1}$)	0.450	0.528	0.514	0.232	0.431
单位 GDP 工业废水排放量 / ($\text{t} \cdot \text{亿元}^{-1}$) Industrial wastewater discharge per unit GDP / ($\text{t} \cdot 10^8 \text{ yuan}^{-1}$)	0.064	0.269	0.412	0.498	0.311

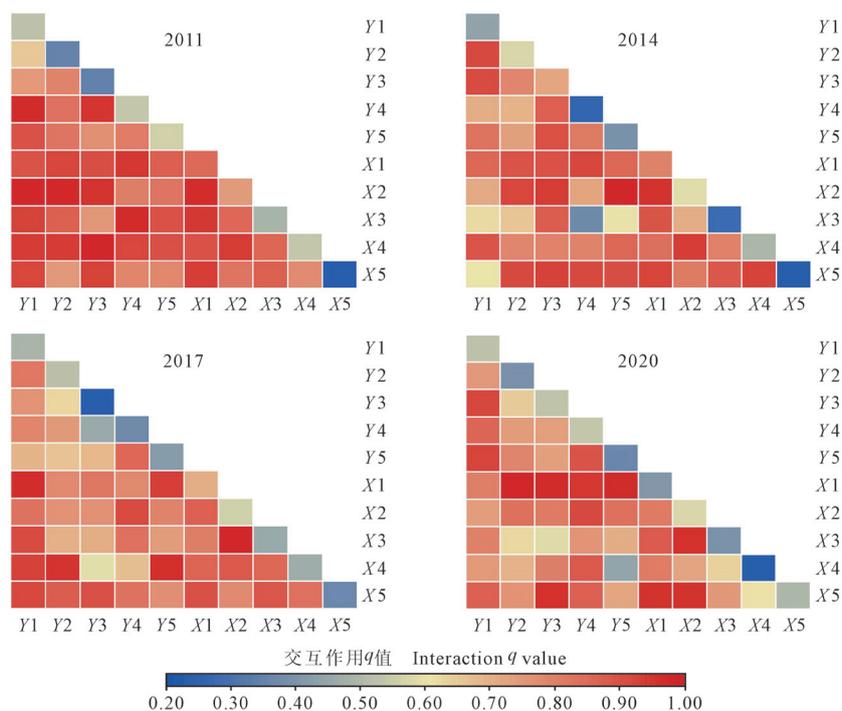


图 3 陕甘宁资源型城市转型效率影响因子交互探测热力图
Fig. 3 Thermal map of interactive detection of influencing factors of transformation efficiency in Shaanxi-Gansu-Ningxia resource-based cities

3 讨论与结论

3.1 讨论

研究期内资源型城市转型效率随时间发生显著变化,空间上同样存在较大差异(Chen et al., 2018; Long et al., 2021)。时间差异上,大多资源型行业属于污染密集型行业,排污强度大,而

提高生产技术和治污技术水平降低污染排放强度需要一定的时间,新兴产业演替更是长期过程,当技术研发成功应用或行业演替基本完成规模化时,转型技术效率或规模效率达到顶峰,而后再随技术的普及与产业更替自然下降(Wang et al., 2022; Yin et al., 2022a)。空间差异上,主要源于各地区资源禀赋。资源丰富地区在资源开采和

利用成本、从业人员结构、主导产业依赖等方面受到引导或约束,这在一定程度上对地区转型升级产生了不利影响。相反,较低资源禀赋水平地区由于目前已面临较大的资源枯竭压力,反而会促使其转型升级(Tan et al., 2017)。

研究期内资源型城市转型效率的椭圆重心总体向东部地区移动,但移动速度、移动距离均呈减小态势,转型效率空间分布格局基本保持稳定。受西部大开发、中部崛起等国家战略的影响,研究期之前主要强调经济规模的扩大,缺乏对环境效益的足够重视。研究初期,随着区域资源环境问题的日益显现,转型效率重心逐步向生态环境容量较高的东部转移,与Xing et al. (2021)、Wang (2022)的研究一致。2014—2017年,随着区域经济及社会向可持续方向转型,处于研究区北部较为孤立、受影响较晚的宁夏石嘴山市表现出了较高转型效率。但由于前期环境问题严重、环保投入相对不足以及整治管理规范、技术欠缺等致使变化幅度较小,资源型城市转型效率进入较为稳定的阶段。

在定量探测资源型城市转型效率空间分异主导因子及交互作用基础上,可以发现当前经济运行水平和要素投入对研究期间资源型城市转型效率时空分异表现出主导性作用(Yin et al., 2022b; Lin et al., 2023)。由此可见,“资源节约和环境友好基础作用+经济运行和要素投入主导作用”是2011—2020年资源型城市转型效率时空分异的内在驱动机制,主导因子的影响机制如下:(1)地方财政一般预算内支出。总体上看,陕西榆林市、宝鸡市、咸阳市常年保持远超其他城市的财政一般预算内支出。增强财政资金投入要素支撑,能够促进资源型城市转型的技术开发能力及利用水平不断进步,将有助于挖掘城市转型的潜力(Li et al., 2021)。同时政府支出的强大导向作用也使该区域成为资金、技术等资源汇聚的目的地。因此,地方财政一般预算内支出是影响研究期市域土地承载力时空分异的主导因子。

(2)城市建设用地面积。充足的城市建设用地面积在一定程度上降低资源型城市转型的压力,反之在有限的城市建设用地面积下对资源利用效率和技术水平等的要求更加严苛(Song et al., 2022)。总体上看,陕西榆林市、宝鸡市、咸阳市,甘肃白银市以及宁夏石嘴山市的城市建设用地面积相对较充足,有助于承载城市转型的持续进

行;相比而言,延安市、武威市、庆阳市、陇南市的城市建设用地面积较紧张,不利于资源型城市转型效率提升。因此,城市建设用地面积是影响研究期市域土地承载力时空分异的主导因素。

(3)地区生产总值。榆林市、宝鸡市、咸阳市是研究区内经济最发达区域,地区经济快速发展,促使产业结构变迁和资源利用方式不断向集约化方向转变,在此基础上其转型效率也保持在高位。因此,地区生产总值是影响研究期市域土地承载力时空分异的主导因子。

3.2 结论与建议

(1)研究期内陕甘宁资源型城市转型综合效率具有显著的时间和空间差异;转型技术效率均总体下降,呈倒“V”型演变格局;转型规模效率演变模式存在较大差异。

(2)研究期内陕甘宁资源型城市转型效率空间分布格局基本保持稳定,重心移动路径呈“东—西北—东南”变化趋势;移动速度呈现“快—慢—慢”的过程。空间分布格局仍以东西方向为主导,南北方向的影响缓慢加强。

(3)地方财政一般预算内支出、城市建设用地面积、地区生产总值是影响资源型城市转型效率空间分异的主导因子,且与其他影响因子交互作用,对研究期陕甘宁资源型城市转型效率分异具有更强的驱动影响。

基于以上结果,为改善资源型城市转型效率,对政策制定提出以下建议:第一,助推非资源行业成长,摆脱路径依赖。加大力度扶持非资源型产业重点项目,构建非资源行业的成长机制,通过加快产业链延伸、大力发展接续产业和培育新的优势产业等方式逐渐降低对资源的过度依赖。第二,加强政府引导,调整投资结构。将用于保护衰退产业生存的资金更多地转向城市转型以及替代产业、接续产业的培育上,将城市转型成效、系统创新能力纳入地方政府考核体系,突出政府的政策引导和服务功能。第三,改善营商环境,促进招商引资。积极进行区域内税收优惠体系的优化,为外来企业和资本提供更好的发展环境。政府也要发挥自身优势,积极进行城市发展上的“推销”。第四,集约土地利用,优化空间格局。针对各城市的现状以及历史遗留问题,对内部各组团进行科学规划。如对已关闭的矿区土地资源优化调整,推动矿区向旅游业、文化产业等多功能方向发展,促进矿区同周边功能片区协

调发展。第五, 重视人才引进, 优化成长环境。不断加大该方面的财政支持力度, 促进资源型城市人才质量和数量的全面提升。强化对转岗和下岗职工及进城务工人员的职业技能培训, 提升劳动力市场技术知识水平以适应城市发展的需要。

参考文献

- 程 鹤. 2019. 资源型城市绿色创新能力评价指标体系的构建 [J]. *科技管理研究*, 39(19): 90–97. [Cheng H. 2019. Establishment of index system for green innovation capability about resource-based city [J]. *Science and Technology Management Research*, 39(19): 90–97.]
- 窦睿音, 焦贝贝, 张文洁, 等. 2023. 西部资源型城市绿色发展效率时空分异与驱动力 [J]. *自然资源学报*, 38(1): 238–254. [Dou R Y, Jiao B B, Zhang W J, et al. 2023. Research on spatiotemporal heterogeneity and driving forces of green development efficiency in resource-based cities of western China [J]. *Journal of Natural Resources*, 38(1): 238–254.]
- 方 磊, 杨正东, 王 刚, 等. 2015. 基于生态足迹法的煤炭型城市可持续发展研究——以河南义马市为例 [J]. *安全与环境学报*, 15(5): 358–361. [Fang L, Yang Z D, Wang G, et al. 2015. Probe into the sustainable development prospect of the coal-mining dominant city by taking Yima, Henan as a sample [J]. *Journal of Safety and Environment*, 15(5): 358–361.]
- 姜国新, 刘 帅. 2020. 资源枯竭型城市转型系统动力模型构建与仿真——以阜新市为例 [J]. *干旱区资源与环境*, 34(6): 1–7. [Jiang G X, Liu S. 2020. Simulation of transformation in resource-exhausted cities based on system dynamics [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 34(6): 1–7.]
- 金 碚. 2018. 关于“高质量发展”的经济学研究 [J]. *中国工业经济*, (4): 5–18. [Jin B. 2018. Study on the “high-quality development” economics [J]. *China Industrial Economics*, (4): 5–18.]
- 李德山, 赵颖文, 李琳璞. 2021. 煤炭资源型城市环境效率及其环境生产率变动分析——基于山西省 11 个地级市面板数据 [J]. *自然资源学报*, 36(3): 618–633. [Li D S, Zhao Y W, Li L Y. 2021. Change of environmental efficiency and environmental productivity of coal cities: based on panel data of 11 cities in Shanxi Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 36(3): 618–633.]
- 李 虹, 邹 庆. 2018. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型升级研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析 [J]. *经济研究*, 53(11): 182–198. [Li H, Zou Q. 2018. Environmental regulations, resource endowments and urban industry transformation: comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities [J]. *Economic Research Journal*, 53(11): 182–198.]
- 李连刚, 张平宇, 王成新, 等. 2021. 区域经济韧性视角下老工业基地经济转型过程——以辽宁省为例 [J]. *地理科学*, 41(10): 1742–1750. [Li L G, Zhang P Y, Wang C X, et al. 2021. Economic transformation process of old industrial bases from the perspective of regional economic resilience: a case study of Liaoning Province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 41(10): 1742–1750.]
- 李文彦. 1978. 煤矿城市的工业发展与城市规划问题 [J]. *地理学报*, 33(1): 63–77. [Li W Y. 1978. Industrial development and urban planning in coal-mining cities [J]. *Acta Geographica Sinica*, 33(1): 63–77.]
- 任嘉敏, 马延吉. 2020. 地理学视角下绿色发展研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 39(7): 1196–1209. [Ren J M, Ma Y J. 2020. Research progress and prospects of green development from the perspective of geography [J]. *Progress in Geography*, 39(7): 1196–1209.]
- 谭俊涛, 张新林, 刘 雷, 等. 2020. 中国资源型城市转型绩效测度与评价 [J]. *经济地理*, 40(7): 57–64. [Tan J T, Zhang X L, Liu L, et al. 2020. Research on the urban transformation performance of China's resource-based cities [J]. *Economic Geography*, 40(7): 57–64.]
- 陶卓民, 薛献伟, 管晶晶. 2010. 基于数据包络分析的中国旅游业发展效率特征 [J]. *地理学报*, 65(8): 1004–1012. [Tao Z M, Xue X W, Guan J J. 2010. Efficiency characteristics analysis of tourism industry in China based on the method of DEA [J]. *Acta Geographica Sinica*, 65(8): 1004–1012.]
- 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望 [J]. *地理学报*, 72(1): 116–134. [Wang J F, Xu C D. 2017. Geodetector: principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 72(1): 116–134.]
- 王 军, 耿 建. 2012. 资源枯竭型城市可持续发展能力的实证研究 [J]. *经济问题*, (1): 46–49. [Wang J, Geng J. 2012. Empirical study on resources exhausted city, ability of sustainable development [J]. *On Economic Problems*, (1): 46–49.]
- 文 琦, 侯凯元, 郑殿元, 等. 2022. 成长型资源城市产业转型能力评价与优化路径——以榆林市为例 [J]. *地理科学*, 42(4): 682–691. [Wen Q, Hou K Y, Zheng D Y, et al. 2022. Evaluation of industrial transformation capability

- and optimization path of growing resource-based cities: a case study of Yulin, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 42(4): 682–691.]
- 杨建林,张思锋,王嘉嘉. 2018. 西部资源型城市产业结构转型能力评价 [J]. *统计与决策*, 34(5): 53–56. [Yang J L, Zhang S F, Wang J J. 2018. Evaluation of industrial structure transformation ability of resource-based cities in western China [J]. *Statistics & Decision*, 34(5): 53–56.]
- 张荣天,张小林,尹鹏. 2022. 长江经济带市域土地资源承载力时空分异与影响因素探析 [J]. *经济地理*, 42(5): 185–192. [Zhang R T, Zhang X L, Yin P. 2022. Spatial-temporal differentiation and driving factors identification of urban land resources carrying capacity in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Economic Geography*, 42(5): 185–192.]
- Bradbury J H, St-Martin I. 1983. Winding down in a Quebec mining town: a case study of Schefferville [J]. *Canadian Geographies*, 27(2): 128–144.
- Brady A. 1953. Harold Adams Innis, 1894—1952 [J]. *Canadian Journal of Economics and Political Science*, 19(1): 87–96.
- Chen W, Shen Y, Wang Y N. 2018. Evaluation of economic transformation and upgrading of resource-based cities in Shaanxi Province based on an improved TOPSIS method [J]. *Sustainable Cities and Society*, 37: 232–240.
- Frankel J A. 2012. The natural resource curse: a survey of diagnoses and some prescriptions [R]. HKS Faculty Research Working Paper Series RWP12-014. Cambridge: John F. Kennedy School of Government, Harvard University.
- Li Q Y, Zeng F E, Liu S H, et al. 2021. The effects of China's sustainable development policy for resource-based cities on local industrial transformation [J]. *Resources Policy*, 71: 101940. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101940.
- Lin X Q, Zhou X, Wang P F. 2023. Spatial differentiation and influencing factors of industrial resource and environmental pressures in China [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 25(9): 9991–10015.
- Long R Y, Li H F, Wu M F, et al. 2021. Dynamic evaluation of the green development level of China's coal-resource-based cities using the TOPSIS method [J]. *Resources Policy*, 74: 102415. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102415.
- Lucas R A. 1971. Minertown, milltown, railtown: life in Canadian communities of single industry [M]. Toronto: University of Toronto Press: 410–423.
- Peng J, Chen S, Lü H L, et al. 2016. Spatiotemporal patterns of remotely sensed PM_{2.5} concentration in China from 1999 to 2011 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 174: 109–121.
- Randall J E, Ironside R G. 1996. Communities on the edge: an economic geography of resource-dependent communities in Canada [J]. *Canadian Geographies*, 40(1): 17–35.
- Song Y, Yeung G, Zhu D L, et al. 2022. Efficiency of urban land use in China's resource-based cities, 2000—2018 [J]. *Land Use Policy*, 115: 106009. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106009.
- Tan J T, Zhang P Y, Lo K, et al. 2017. Conceptualizing and measuring economic resilience of resource-based cities: case study of Northeast China [J]. *Chinese Geographical Science*, 27(3): 471–481.
- Wang R L, Wang C X, Zhang S, et al. 2021. A study on the spatial and temporal evolution of urban shrinkage and its influencing factors from a multidimensional perspective: a case study of resource-based cities in China [J]. *PLoS One*, 16(10): e0258524. DOI: 10.1371/journal.pone.0258524.
- Wang Y F. 2022. Development characteristics, influencing mechanism and coping strategies of resource-based cities in developing countries: a case study of urban agglomeration in Northeast China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17): 25336–25348.
- Wang Y J, Chen H, Long R Y, et al. 2022. Has the sustainable development planning policy promoted the green transformation in China's resource-based cities? [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 180: 106181. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106181.
- Xing M L, Luo F Z, Fang Y H. 2021. Research on the sustainability promotion mechanisms of industries in China's resource-based cities— from an ecological perspective [J]. *Journal of Cleaner Production*, 315: 128114. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128114.
- Yin J F, Shi P J, Feng H Y, et al. 2022a. Dynamic evolution and influencing factors of coupling coordination between innovation environment and transformation development of resource-based cities in Gansu Province, China [J]. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 990238. DOI: 10.3389/fenvs.2022.990238.
- Yin Q, Wang Y D, Xu Z H, et al. 2022b. Factors influencing green transformation efficiency in China's mineral resource-based cities: method analysis based on IPAT-E and PLS-SEM [J]. *Journal of Cleaner Production*, 330: 129783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129783.