

蒋 兵,付华健,张力元. 黄河流域绿色科技创新竞争力时空分异演变及障碍因素[J]. 地球科学与环境学报, 2024, 46(1): 14-24.
JIANG Bing, FU Hua-jian, ZHANG Li-yuan. Spatiotemporal Variation and Obstacle Factors of Green Technology Innovation Competitiveness in Yellow River Basin, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2024, 46(1): 14-24.

DOI:10.19814/j.jese.2023.09033

黄河流域绿色科技创新竞争力 时空分异演变及障碍因素

蒋 兵¹, 付华健¹, 张力元²

(1. 山东理工大学 管理学院, 山东 淄博 255000; 2. 长江大学 经济与管理学院, 湖北 荆州 434023)

摘 要: 加快提升绿色科技创新竞争力是实现黄河流域高质量发展的必然需求。在利用纵横向拉开档次法系统评价 2009~2020 年黄河流域绿色科技创新竞争力的基础上, 进一步采用核密度估计和空间马尔科夫链对其时空分布格局和动态演进特征进行深入分析, 并借助障碍度模型分析阻碍黄河流域绿色科技创新竞争力提升的主要因素。结果表明: ①黄河流域绿色科技创新竞争力整体发展呈现出“衰退期”“上升期”“再衰期”“重振期”4 个阶段的“W”型变化趋势, 地区间绿色科技创新竞争力的绝对差异有所缩小, 但仍具有显著的“梯度”发展特征, 黄河流域上、中、下游绿色科技创新竞争力依次递增; ②黄河流域不同等级间的绿色科技创新竞争力具有转移“惰性”, 低竞争力地区面临严重的“等级壁垒”, 而高竞争力地区则存在“俱乐部趋同”现象, 空间溢出效应下, 绿色科技创新竞争力转移的“等级锁定”概率有所降低, 但仍无法实现跨级跃迁; ③黄河流域绿色科技创新竞争力的阻碍因素主要体现在绿色发展不足和成果转化不充分等方面, 其中单位 GDP 能耗、能源消费结构、能源消耗、开放程度和绿色科技论文发表数量是阻碍黄河流域绿色科技创新竞争力提升的主要因素。

关键词: 绿色科技创新; 竞争力; 时空分异; 障碍因素; 拉开档次法; 核密度估计; 空间马尔科夫链; 黄河流域

中图分类号: X22; F124.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2024)01-0014-11

Spatiotemporal Variation and Obstacle Factors of Green Technology Innovation Competitiveness in Yellow River Basin, China

JIANG Bing¹, FU Hua-jian¹, ZHANG Li-yuan²

(1. Business School, Shandong University of Technology, Zibo 255000, Shandong, China;

2. School of Economics and Management, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China)

Abstract: Accelerating the enhancement of green technology innovation competitiveness is an inevitable requirement for achieving high-quality development in Yellow River Basin. Building upon a systematic evaluation of the green technology innovation competitiveness in Yellow River Basin from 2009 to 2020, using vertically and horizontally opening grade method, an in-depth analysis of its spatiotemporal distribution pattern and dynamic evolution features was further conducted through the utilization of kernel density estimation and spatial Markov chain;

additionally, an obstacle degree model was employed to analyze the main factors hindering the improvement of green technology innovation competitiveness in Yellow River Basin. The results show that ① the overall development of green technology innovation competitiveness in Yellow River Basin exhibits a “W”-shaped trend with four stages, including decline period, ascendancy period, re-decline period, and revitalization period; the absolute differences in green technology innovation competitiveness between regions have diminished, yet a significant gradient development characteristic persists, with competitiveness increasing successively from upstream to downstream. ② There is a transfer inertia of green technology innovation competitiveness between different levels in Yellow River Basin; regions with low competitiveness face severe grade barriers, while regions with high competitiveness exhibit a club convergence phenomenon; under spatial effects, the probability of grade locking in the transfer of green technology innovation competitiveness decreases, but cross-level transitions remain elusive. ③ The obstacles to green technology innovation competitiveness in Yellow River Basin mainly manifest in the aspects of inadequate green development and outcome transformation; factors such as unit GDP energy consumption, energy consumption structure, energy consumption, openness, and the number of green technological papers published are identified as the primary impediments to the enhancement of green technological innovation competitiveness in Yellow River Basin.

Key words: green technology innovation; competitiveness; spatiotemporal differentiation; obstacle factor; opening grade method; kernel density estimation; spatial Markov chain; Yellow River Basin

0 引言

习近平总书记明确指出黄河流域是我国重要的生态屏障和重要的经济地带,在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位。而在南北方经济差距日益扩大的今天,黄河流域的振兴对于中国区域均衡发展具有更为举足轻重的战略意义^[1]。2019年,黄河流域生态保护和高质量发展正式上升为重大国家战略,2020年《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》发布,吹响了大力推动黄河流域经济、社会和生态深度协调发展的政策号角。同时,绿色发展是生态文明建设的必然要求,代表了当今科技和产业变革方向^[2]。这主要是因为绿色科技创新与传统科技创新相比,更加注重社会效益、生态效益和经济效益的深度均衡发展,对于当前中国区域经济的转型发展意义重大^[3]。但是,黄河流域绿色科技创新还存在创新能力不强、要素投入不足和发展质量不高等问题,导致其绿色科技创新水平距离“理想”状态还有差距^[4-5]。因此,只有科学有效地提升黄河流域绿色科技创新竞争力,才能推动其发展由传统资源要素驱动转变为由绿色科技创新驱动,进而有效地实现黄河流域高质量发展。

目前对于绿色科技创新竞争力的研究还相对较

为匮乏,与之相关的研究主要集中在科技创新竞争力和绿色科技创新效率两个方面。其中,对于科技创新竞争力可以从其测度、时空演化和影响因素3个方面进行归纳。在测度方面,初期研究大多使用诸如研发投入、人力投入和专利产出等单一的科技类指标来指代区域科技创新竞争力^[6-7],但此类方法忽略了科技创新竞争力的系统性。因此,后续研究多从多维视角构建区域科技创新竞争力评价体系,如从经济 and 科技等方面进行综合构建^[8],并采用主成分分析法、熵权法等客观赋权方法对其进行测度^[9]。在时空演化方面,中国城市科技创新竞争力的空间分异程度基本与全球平均水平持平,从地区视角来看呈现出由东至西依次递减的“梯度”发展格局,并且沿海地区高于内陆地区^[10-11]。在影响因素方面,区域科技创新竞争力的高低会受到多种因素的综合影响。增强环境规制力度、促进资本市场资金流动、提高市场交易效率和科技资源配置水平等能够显著提升区域科技创新竞争力^[12-13]。相应地,对于绿色科技创新效率的研究也可以从上述3个方面进行归纳。其中,测度方面主要从投入与产出的整体性视角^[14]或技术研发、转化和价值创造的阶段性视角^[15]来构建绿色科技创新效率评价体系,并利用数据包络分析法(DEA)^[16]、随机前沿分析法

(SFA)^[17]等对其进行评价。在时空演化方面,现有研究发现中国的区域绿色科技创新效率具有显著的时空演变和空间溢出效应,东部地区绿色科技创新效率远大于中、西部地区且“虹吸效应”明显^[18]。在影响因素方面,各地区在经济水平、对外开放、交通基础设施和政策支持氛围等方面存在较大的差异,导致其绿色科技创新效率差距明显^[19-20]。

综上所述,现阶段学界对于科技创新竞争力和绿色科技创新效率已经进行了较为深入的研究,但对于绿色科技创新竞争力关注不足。绿色科技创新竞争力是统筹协调黄河流域经济、社会和生态发展的重大战略支撑,对于黄河流域高质量发展具有重要意义。基于此,本文在利用纵横向拉开档次法对黄河流域绿色科技创新竞争力进行综合测度的基础上,利用核密度估计和空间马尔科夫链对其空间关联性和动态演进特征进行了探讨分析,并借助障碍度模型分析了阻碍黄河流域绿色科技创新竞争力提升的主要因素,探讨了黄河流域绿色科技创新竞争力的发展现状和制约因素,以期为推动黄河流域绿色高质量发展提供理论支持。

1 绿色科技创新竞争力内涵与指标体系构建

对于绿色科技创新竞争力的概念目前学界还没有明确的界定,但可以从绿色科技创新和竞争力两方面进行解读。绿色科技创新是指在环境友好和可持续性发展原则下,通过研发和采用科技手段,解决环境问题、提高资源利用效率、减少对生态系统的影响的一系列原创性科学研究、导向型技术开发和规模化工程应用等创新活动的总称^[21-22];而竞争力是指企业、产业、国家或其他实体在市场中相对于竞争对手的能力,以实现和维持长期的盈利和可持续发展^[23]。结合以上观点,本文将绿色科技创新竞争力定义为企业、国家或地区在围绕区域绿色低碳发展,持续开展绿色科技创新活动,来推动生态环境治理、经济循环运行和社会可持续发展方面相对于竞争对手的能力和优势。在对绿色科技创新竞争力概念进行界定的基础上,进一步结合现有研究^[24],最终从创新投入、成果转化、创新环境和绿色发展 4 个维度,综合选取 18 项评价指标构建了黄河流域绿色科技创新竞争力评价体系,结果如表 1 所示。其中,创新投入指标是指黄河流域各省区对自身绿色科技创新竞争力的研发要素的投入情况,对绿色科技创新能力具有显著的积极影响^[25];成果转化指标是指绿

色科技创新的成果产出以及转化能力,是衡量流域绿色科技创新竞争力的关键,可以从直接转化和间接转化两个方面来测度^[26];创新环境指标是指所处省区的外部经济社会条件,是绿色科技创新活动顺利开展的重要保障;绿色发展指标是指绿色科技创新竞争力的能源节约水平,绿色科技创新促进了产业技术创新乃至变革,不仅提升了生产要素的产出效率和水平,而且降低了能源消耗,因此该指标能够有效反映绿色科技创新水平^[27]。

2 分析方法与数据来源

2.1 分析方法

2.1.1 纵横向拉开档次法

绿色科技创新竞争力测度作为一个综合评价问题,涉及多个领域及因素,其测度不仅要排除主观因素的影响,还要保证每个指标所占权重的合理性。与常规测度模型相比,纵横向拉开档次法具有增强数据结果对比性而不带主观色彩的优势^[28]。对此,本文采用上述方法对黄河流域绿色科技创新竞争力进行综合评价分析。其计算公式为

$$y_i(t_k) = \sum_{j=1}^m \omega_j x_{ij}(t_k) \quad (1)$$

式中: $x_{ij}(t_k)$ 指在 t_k 期评价对象 i 的 j 指标值; $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, T; \omega_j$ 表示 j 指标权重系数; $y_i(t_k)$ 表示在 t_k 期评价对象 i 的综合评价价值。

指标数据需进行标准化处理,使其取值为 $[0, 1]$,正、负向指标标准化公式分别为

$$x_{ij}^+(t_k) = \frac{x_{ij}(t_k) - \min\{x_{ij}(t_k)\}}{\max\{x_{ij}(t_k)\} - \min\{x_{ij}(t_k)\}} \quad (2)$$

$$x_{ij}^-(t_k) = \frac{\max\{x_{ij}(t_k)\} - x_{ij}(t_k)}{\max\{x_{ij}(t_k)\} - \min\{x_{ij}(t_k)\}} \quad (3)$$

而对于式(1)中 ω_j 的取值不仅要反映选定指标在综合评价结果中所起作用的大小,而且还应充分地反映出各个评价对象之间的相对差别,因此可设 $y_i(t_k)$ 总离差 ϵ 平方和取最大值。其表达式为

$$\epsilon^2 = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^n (y_i(t_k) - \bar{y})^2 \quad (4)$$

\bar{y} 满足 $\bar{y} = \sum_{k=1}^T \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_j x_{ij}(t_k) / n \right) / T = 0$,将其代入式(4)可得

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &= \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^n (y_i(t_k))^2 = \sum_{k=1}^T [W^T H_k W] \\ &= W^T \sum_{k=1}^T [H_k W] = W^T H W \end{aligned} \quad (5)$$

表 1 各统计变量描述
Table 1 Descriptions of Each Statistical Variable

领域层	序号	指标层	含义	单位	属性	权重
创新投入	a1	绿色技术研发投入	绿色技术研发投入总金额	亿元	+	0.042
	a2	绿色技术研发投入强度	绿色技术研发投入占地区 GDP 比重	%	+	0.062
	a3	R&D 人员数量	R&D 人员全时人员数量	人	+	0.043
	a4	R&D 人员折合数量	R&D 人员折合全时人员数量	人·年 ⁻¹	+	0.049
成果转化	b1	绿色专利申请数量	绿色发明专利和绿色实用新型专利申请数量之和	项	+	0.048
	b2	绿色专利授权数量	绿色发明专利和绿色实用新型专利授权数量之和	项	+	0.047
	b3	绿色科技论文发表数量	地区当年发表绿色科技论文数量	篇	+	0.072
	b4	绿色科技成果数量	绿色科技成果项目数量	项	+	0.043
	b5	绿色技术注册	绿色技术注册商标数量	个	+	0.053
创新环境	c1	产业结构	第三产业总产值占地区 GDP 比重	%	+	0.053
	c2	开放程度	实际使用外商投资额占地区 GDP 比重	%	+	0.063
	c3	教育水平	每十万人人口中高等学校在校生人数	人	+	0.056
	c4	知识产权保护水平	技术市场交易额占地区 GDP 比重	%	+	0.035
绿色发展	d1	能源消耗	地区能源消耗总量	万吨标准煤	—	0.060
	d2	单位 GDP 能耗	每产出亿元 GDP 所消耗的能源	万吨标准煤·亿元 ⁻¹	—	0.093
	d3	能源消费结构	地区煤炭能源消耗量占能源消耗总量比重	%	—	0.064
	d4	环境规制	环境规制综合指数		+	0.048
	d5	环境保护	环境保护支出	亿元	+	0.070

注：“+”、“—”分别表示“正向指标”和“逆向指标”；d4 环境规制指标由工业废水排放量、工业 SO₂ 排放量和工业烟尘排放量 3 项指标利用熵值法计算得到。

$$\boldsymbol{W}=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_m)^{\text{T}} \tag{6}$$

$$\boldsymbol{H}=\sum_{k=1}^T\boldsymbol{H}_k \tag{7}$$

$$\boldsymbol{H}_k=\boldsymbol{X}_k^{\text{T}}\boldsymbol{X}_k \tag{8}$$

$$\boldsymbol{X}_k=\begin{bmatrix}x_{11}(t_k) & \cdots & x_{1m}(t_k) \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1}(t_k) & \cdots & x_{nm}(t_k) \end{bmatrix} \tag{9}$$

式中： \boldsymbol{H} 代表 $m \times m$ 对称矩阵。

基于上述模型,当 $\boldsymbol{W}\boldsymbol{W}^{\text{T}}=1$ 时, ϵ^2 取得最大值,此时矩阵 \boldsymbol{H} 的最大特征值对应的特征向量 \boldsymbol{W} 即为最终权系数,将其代入式(1)即可计算出综合评价值。

2.1.2 核密度估计

核密度估计是利用连续的密度函数曲线对随机变量的分布形态进行描述,设 $f(x)$ 是黄河流域绿色科技创新竞争力综合指数 x 的密度函数。其表达式为

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^nK(\frac{x_i-\bar{x}}{h}) \tag{10}$$

式中： n 为观测值的个数； x_i 表示各个观测值； \bar{x} 表示观测值的平均值； h 为带宽； $K(\cdot)$ 为核密度函数,本文指高斯核函数。

2.1.3 空间马尔科夫链

马尔科夫链表现了状态空间从一个状态转移至

其他状态的随机过程,可以用来预测事物未来发展变化的规律。考虑到地理区位因素的存在,绿色科技创新竞争力动态跃迁并不是孤立的,地区间存在空间互动影响。空间马尔科夫链加入了空间滞后项,与传统马尔科夫链相比,可以判断相邻地区绿色科技创新竞争力相互促进或制约的影响,揭示了绿色科技创新竞争力发展演变和地理区位因素影响的内在规律,具体计算过程参见文献[29]。

2.1.4 障碍度模型

为了进一步揭示造成黄河流域绿色科技创新竞争力时空分布现状的原因,挖掘制约黄河流域绿色科技创新竞争力提升的因素,进一步引入障碍度模型对其进行病理诊断分析。其表达式为

$$F_{ij}=1-Y_{ij} \tag{11}$$

$$Z_{ij}=F_{ij}\omega_j/\sum_{j=1}^m(F_{ij}\omega_j) \tag{12}$$

式中： Y_{ij} 为标准化后的指标数值； Z_{ij} 为各指标对绿色科技创新竞争力发展的障碍度； F_{ij} 为中间变量。

2.2 数据来源

本文以 2009~2020 年黄河流域九省区为研究对象,所用数据来源于《中国科技统计年鉴》《中国工业统计年鉴》、EPS 数据库以及佰腾专利检索网站,对于个别年份缺失数据,利用插值法进行补充。其

中,由于绿色技术研发投入指标数据无法直接获得,参照肖仁桥等提出的方法^[30],利用技术研发投入指标数据进行近似转换处理。此外,绿色科技论文、绿色科技成果和绿色技术注册在中国尚未专门对其进行分类,因此采取关键词检索策略进行检索获得^[31]。

3 黄河流域绿色科技创新竞争力时空演化特征

3.1 时序演变特征

图 1 展示了 2009~2020 年黄河流域绿色科技创新竞争力及各领域层的发展变化情况。由图 1 可知,黄河流域绿色科技创新竞争力整体上呈弱下降态势,综合评价值由 2009 年的 0.446 下降至 2020 年的 0.430,说明流域整体绿色科技创新发展上还有着一些主要制约因素。从整个研究期来看,流域绿色科技创新竞争力呈“W”型变化趋势,首先在 2009~2011 年间的短期显著下降后,又呈现出上升态势,而后在 2012~2016 年间再次呈现下降趋势,之后一直表现为明显上升态势,2020 年则又略有下降。因此,研究期内流域绿色科技创新竞争力变化大致可以分为“衰退期”“上升期”“再衰期”与“重振期”4 个阶段,这与流域所处的内外部环境紧密相关。

2008 年,国际金融危机爆发,黄河流域的资源要素驱动型产业受到影响,之后黄河流域经济增速减缓,经济总量在全国所占份额下降,影响流域绿色科技创新竞争力发展,同时各领域层发展也均表现为增速放缓的趋势。2012 年随着经济危机影响的减弱,黄河流域各领域层发展状况均有明显好转,推动其绿色科技创新竞争力出现上升趋势。但此后又进入增速放缓的阶段,这主要是因为经济增长由资源要素驱动向创新驱动转变存在明显的门槛效应,而黄河流域整体发展不均衡,多数地区经济水平和人才竞争力相对不高,绿色科技研发基础不够强,创新资源配置和利用能力不高,使后续创新动力不足^[32]。因此在创新投入和绿色发展呈上升发展趋势的形势下,创新环境和成果转化没有随之相应上升,使流域绿色科技创新竞争力有所下降。2017~2019 年流域绿色科技创新竞争力进入快速增长的阶段,即受创新投入、创新环境和绿色发展稳定上升的作用,流域绿色科技创新竞争力得到了大幅增长。这主要是因为随着《“十三五”国家科技创新规划》政策的出台,黄河流域绿色科技创新的政策体系和组

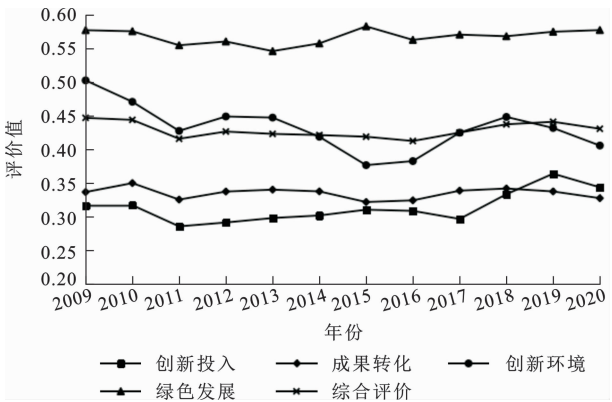


图 1 2009~2020 年黄河流域绿色科技创新竞争力及各领域层评价值

Fig. 1 Green Technology Innovation Competitiveness in Yellow River Basin from 2009 to 2020 and Evaluation Value in Various Fields

织体系日益完善,各地创新资源的配置和利用能力也得到了长足进步,支撑了绿色科技创新竞争力的不断提升。2020 年受全球新冠疫情的影响,创新要素的配置和流动受阻,除绿色发展仍保持小幅上升外,其余领域均有下降,进而使绿色科技创新竞争力有所下降。

3.2 空间分布演化特征

为进一步探析黄河流域各省区绿色科技创新竞争力的空间联系特征,首先对其进行聚类分析,结果如表 2 所示。由表 2 可知,黄河流域绿色科技创新竞争力呈“梯度”发展趋势。其中,山东“一枝独秀”,处于领先地位,位于第一层级;四川、陕西和河南紧随其后,位于第二层级;甘肃、内蒙古和山西则位于第三层级;而青海和宁夏则相对落后,位于第四层级。

表 2 黄河流域绿色科技创新竞争力聚类分析结果

Table 2 Cluster Analysis Results of Green Technology Innovation Competitiveness in Yellow River Basin		
层级	省区	综合评价值
第一层级	山东	0.753~0.826
第二层级	四川、陕西、河南	0.552~0.624
第三层级	甘肃、内蒙古、山西	0.290~0.347
第四层级	青海、宁夏	0.150~0.277

截取 2010 年和 2020 年时间断面,利用分位数分类方法将上述年份黄河流域各省区的绿色科技创新竞争力分为 4 个等级,从高到低依次为高竞争力、中高竞争力、中低竞争力和低竞争力,结果如表 3 所示。从全局来看,2009~2020 年黄河流域绿色科技创新竞争力以低竞争力和中低竞争力省区为主导,呈大面积“片状”分布,且主要分布于黄河上游地区

表 3 2010 年、2020 年黄河流域各省区绿色科技创新竞争力等级变化

Table 3 Level Changes of Green Technology Innovation Competitiveness in Various Provinces and Regions of Yellow River Basin in 2010 and 2020

区域	省区	2010 年	2020 年
黄河上游	青海	中低竞争力	低竞争力
	甘肃	中低竞争力	中低竞争力
	四川	高竞争力	中高竞争力
	宁夏	低竞争力	低竞争力
	内蒙古	中低竞争力	低竞争力
黄河中游	陕西	中高竞争力	中高竞争力
	山西	中低竞争力	中低竞争力
黄河下游	河南	中高竞争力	中高竞争力
	山东	高竞争力	高竞争力

和中游部分地区;中高竞争力和高竞争力省区呈“散点”式分布,散落分布于黄河上、中、下游,空间分布变化集中在黄河上游地区且主要表现为中低竞争力省区的变化。

具体来看,黄河上游地区主要以中低竞争力省区为主,包括青海、甘肃和内蒙古,此外宁夏表现为低竞争力,四川则表现为高竞争力,两极分化现象明显。随着社会经济的发展,四川由高竞争力转变为中高竞争力,青海和内蒙古则由中低竞争力转变为低竞争力,其余省区则未发生明显变化。青海、甘肃、宁夏、内蒙古四省区在空间分布上正好是地理位置邻近的关系,是黄河流域中的“盲点区”,绿色技术研发投入不足、R&D 人员数量短缺、教育水平相对落后是制约其绿色科技创新竞争力提升的共同原因,因此政府下一步应加大对上述省区创新要素的投入支持力度,避免其陷入“贫困陷阱”。黄河中游地区,山西表现为中低竞争力,陕西则表现为中高竞争力,且在研究期内均未发生明显变化。黄河下游地区,河南表现为中高竞争力,山东则表现为高竞争力,同样在研究期内均未发生明显变化。山东作为全国排名前十的经济大省,无论是地区 GDP 总量还是人均 GDP 均位于流域领先水平,雄厚的经济基础为绿色科技创新活动提供了坚实的产业和资本支撑。此外,山东是中国的教育大省和排名前三的人口大省,在 R&D 人员数量、教育水平等方面也处于流域强势地位,因此其绿色科技创新竞争力一直处于较高水平。综上所述,研究期内黄河流域绿色科技创新竞争力空间分布呈上、中、下游依次递增的格局。

4 绿色科技创新竞争力的分布动态演进及空间转移规律

4.1 核密度估计

利用三维核密度图进一步刻画黄河流域绿色科技创新竞争力的绝对差异及其动态演化趋势(图 2)。从分布位置来看,曲线总体上表现为小幅度左移,说明黄河流域绿色科技创新竞争力整体上有所降低。但从具体变化过程来看,其位置变化呈左右小幅交错移动,这一结论与前文黄河流域绿色科技创新竞争力测度结果一致。从分布形态来看,主峰高度呈现“上升→下降→上升”的变化趋势,总体有所上升,主峰宽度呈现“减小→增大→减小”的变化趋势,总体有所减小。这说明黄河流域绿色科技创新竞争力的绝对差异先有所减小而后有所上升,继而又有所减小,并在总体上表现为绝对差异降低。从分布延展性来看,曲线存在明显的右拖尾现象,且分布延展性呈逐年小幅度拓宽的趋势,然而拖尾程度较小。这说明黄河流域绿色科技创新竞争力呈上升趋势,但提升幅度较小,仍有较大的提升空间。从波峰数量来看,曲线由单峰逐渐发展为双峰,并且侧峰峰值呈现逐渐上升的趋势,说明黄河流域绿色科技创新竞争力呈两极分化态势,且分化程度正在逐步加深。

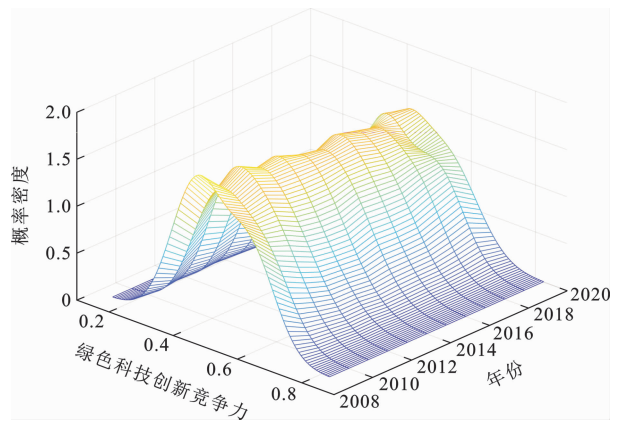


图 2 黄河流域绿色科技创新竞争力三维核密度图
Fig. 2 Three-dimensional Kernel Density Diagram of Green Technology Innovation Competitiveness in Yellow River Basin

4.2 空间转移规律

为进一步探析黄河流域绿色科技创新竞争力发展的内部流动性及其位置转移特征,首先利用分位数分类方法将黄河流域绿色科技创新竞争力分为低、中低、中高和高 4 种类型,分别用 I ~ IV 表示,然后引入传统马尔科夫转移概率矩阵对其进行分析

(表 4)。由表 4 可知,处于低、中低、中高和高绿色科技创新竞争力等级的省区在 1 年以后维持原等级的概率分别为 89.5%、71.5%、56.5%和 83.3%,说明绿色科技创新竞争力存在空间转移“惰性”,而且在低竞争力和高竞争力等级的省区这一现象表现更为明显。低竞争力、中低竞争力和中高竞争力等级的省区在 1 年后转向更高等级的概率分别为 10.5%、9.5%和 21.8%,可见黄河流域绿色科技创新竞争力的发展面临着困境,自身发展等级越高越容易实现跨越式跃迁,而低竞争力省区则面临着“等级壁垒”,容易落入“贫困陷阱”。中低竞争力、中高竞争力和高竞争力省区转向更低等级的概率分别为 19.0%、21.7%和 16.7%,说明绿色科技创新竞争力存在等级下降转移的风险。

表 4 绿色科技创新竞争力马尔科夫概率转移矩阵

Table 4 Markov Probability Transfer Matrix of Green Technology Innovation Competitiveness

无空间滞后	I	II	III	IV	观测值
I	89.5%	10.5%	0.0%	0.0%	19
II	19.0%	71.5%	9.5%	0.0%	21
III	0.0%	21.7%	56.5%	21.8%	23
IV	0.0%	0.0%	16.7%	83.3%	18

考虑空间因素的存在,进一步建立空间马尔科夫转移概率矩阵对其进行分析,结果见表 5。首先,不同滞后类型下矩阵的对角线元素并非完全大于非对角线元素,说明在空间溢出效应下绿色科技创新竞争力的“等级锁定”概率有所降低,但从概率大小来看,其锁定概率仍然较高,不同等级间难以实现跨级跃迁。其次,在Ⅲ、Ⅳ类滞后条件下,对角线两侧明显存在非零元素,说明绿色科技创新竞争力的提升存在不稳定性,有向下转移的风险,并且滞后条件越高,向下转移的风险就越大。这说明现阶段黄河流域各省区间仍以竞争为主,绿色科技创新竞争力较高地区的溢出效应仍未得到有效发挥。

5 黄河流域绿色科技创新竞争力障碍因素

5.1 领域层障碍因素

图 3 展示了黄河流域整体领域层障碍度变化情况。由图 3 可知,整体来看,黄河流域绿色科技创新竞争力主要受绿色发展的影响,研究期内障碍度平均值为 34.56%,其次受成果转化的影响,障碍度平均值为 25.47%,创新环境和创新投入的影响相对较低,障碍度平均值分别为 20.06%和 19.90%。从

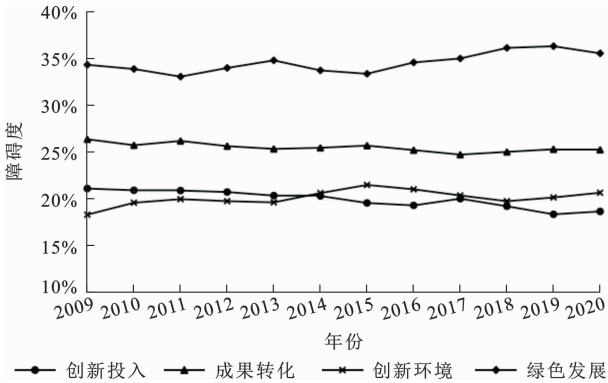


图 3 黄河流域整体领域层障碍度变化情况
Fig. 3 Changes of Obstacle Degree in the Overall Domain of Yellow River Basin

表 5 绿色科技创新竞争力空间马尔科夫概率转移矩阵

Table 5 Spatial Markov Probability Transfer Matrix of Green Technology Innovation Competitiveness

滞后类型	跨期 1 年后的类型	I	II	III	IV	观测值
I	I	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
	II	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
	III	0.0%	0.0%	57.1%	42.9%	7
	IV	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
II	I	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
	II	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
	III	0.0%	0.0%	81.8%	18.2%	11
	IV	0.0%	0.0%	25.0%	75.0%	8
III	I	89.5%	10.5%	0.0%	0.0%	19
	II	14.3%	71.4%	14.3%	0.0%	14
	III	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	3
	IV	0.0%	0.0%	10.0%	90.0%	10
IV	I	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
	II	28.6%	71.4%	0.0%	0.0%	7
	III	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	2
	IV	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0

障碍度大小变化趋势来看,绿色发展障碍度呈波动上升趋势,说明黄河流域在能源消耗和环境保护方面形势不容乐观,是未来需要重点关注的领域。成果转化障碍度呈现波动下降趋势,说明黄河流域绿色科技创新成果转化能力有所提升。创新投入障碍度基本呈下降趋势且下降幅度较大,并且在 2014 年低于创新环境障碍度,说明随着社会经济的发展,黄河流域开始逐步重视对绿色科技创新发展的资源投入,不断增加其资金和人力资源输入量且作用效果明显。创新环境障碍度呈现波动上升趋势,说明黄河流域虽然加大了创新资源投入,但相应的创新环境没有跟上发展步伐,提升较为滞后,在以后的发展

中要积极采取相应措施,营造良好的绿色科技创新环境。

表 6 为研究期内黄河流域各省区领域层平均障碍度排名情况。由表 6 可知,创新投入和创新环境障碍度对各省区绿色科技创新竞争力影响均处于中间或靠后位置。而绿色发展障碍度对于青海、甘肃、四川、陕西、河南和山东六省影响最大,说明上述省份在绿色发展方面均还存在一些制约问题,资源型产业占比相对过重、能源结构不够合理、能源消耗较多是阻碍其绿色科技创新竞争力提升的通病。成果转化障碍度对宁夏、内蒙古和山西三省区的影响最大,说明上述省区在绿色科技创新发展过程中存在科技创新产出水平低、成果转化机制不健全等问题。

表 6 黄河流域各省区绿色科技创新竞争力领域层障碍度

Table 6 Obstacle Degree of Green Technology Innovation Competitiveness of Various Provinces and Regions in Yellow River Basin

省区	创新投入	成果转化	创新环境	绿色发展
青海	21.78%	29.36%	18.53%	30.33%
甘肃	21.79%	29.69%	15.03%	33.49%
四川	19.30%	16.71%	19.24%	44.74%
宁夏	23.78%	33.52%	18.05%	24.66%
内蒙古	26.20%	33.84%	18.31%	21.65%
陕西	17.62%	26.28%	12.30%	43.80%
山西	25.88%	35.23%	17.72%	21.18%
河南	20.86%	21.53%	21.49%	36.12%
山东	1.93%	3.07%	39.90%	55.10%

5.2 指标层障碍因素

表 7 为黄河流域整体及各省区绿色科技创新竞争力指标层平均障碍度情况。鉴于篇幅限制,本文只选取平均障碍度排名前五的指标进行分析。从黄

表 7 黄河流域整体及各省区绿色科技创新竞争力指标层障碍度

Table 7 Obstacle Degree of Green Technology Innovation Competitiveness Indicators in Yellow River Basin as a Whole and in Various Provinces and Regions

地区	第一障碍层		第二障碍层		第三障碍层		第四障碍层		第五障碍层	
	指标序号	障碍度	指标序号	障碍度	指标序号	障碍度	指标序号	障碍度	指标序号	障碍度
黄河流域	d2	12.93%	d3	6.18%	d1	5.63%	c2	5.51%	b3	5.40%
青海	b3	8.03%	d3	7.11%	a2	6.74%	d5	6.70%	d1	6.68%
甘肃	d2	9.45%	c2	7.95%	d1	6.85%	b3	6.65%	b5	6.47%
四川	d2	17.13%	d3	11.54%	d4	7.02%	c3	6.35%	d1	6.23%
宁夏	d5	9.16%	b3	8.99%	d1	7.46%	c2	6.99%	b5	6.80%
内蒙古	d2	10.51%	b3	8.55%	a2	8.31%	a4	6.91%	b5	6.58%
陕西	d2	15.65%	d1	8.72%	c1	7.72%	d5	7.58%	d4	7.54%
山西	b3	8.52%	b5	7.33%	a4	7.19%	a2	6.87%	d5	6.80%
河南	d2	16.79%	c1	9.08%	a2	7.26%	d3	7.16%	c4	6.16%
山东	d2	36.52%	d3	16.12%	c4	11.71%	c3	10.47%	c2	10.46%

河流域整体来看,阻碍黄河流域绿色科技创新竞争力提升的前五位因素依次为 d2 单位 GDP 能耗、d3 能源消费结构、d1 能源消耗、c2 开放程度和 b3 绿色科技论文发表数量。黄河流域煤炭资源丰富,是中国的“能源流域”,沿黄九省区工业能源结构仍以煤炭为主。特别是随着国家实施“西部大开发”战略和“一带一路”倡议以来,沿黄地区经济社会快速发展,对煤炭能源需求大幅增加^[33]。在此背景下,黄河流域经济发展“倚能倚重、低质低效”的问题相对突出,能源消耗成为制约其绿色科技创新竞争力提升的主要因素。同时,c2 开放程度和 b3 绿色科技论文发表数量分别排名第四和第五,说明目前黄河流域对外开放水平较低,同时流域内部相关研究者对于绿色科技创新的关注度不足。从省区层面来看,a2 绿色技术研发投入强度、b5 绿色技术注册和 d5 环境保护等指标出现频次也较高,说明不同省区的绿色科技创新竞争力障碍因素具有区域异质性。

6 结论与建议

6.1 结 论

本文以黄河流域九省区为研究对象,构建了绿色科技创新竞争力综合评价指标体系,通过选取 2009~2020 年的相关数据,对黄河流域绿色科技创新竞争力进行综合评价和时空演化特征分析。

(1)研究期内黄河流域绿色科技创新竞争力在时序上呈现先降后升中期波动的“W”型变化趋势。各省区之间绿色科技创新竞争力的绝对差异有所缩小,但“梯度”发展特征显著,从空间分布来看,呈上、中、下游依次递增的空间分布格局。

(2)黄河流域绿色科技创新竞争力存在转移“惰

性”，低竞争力地区面临“等级壁垒”，高竞争力地区则存在“俱乐部趋同”现象。空间溢出效应下，绿色科技创新竞争力的“等级锁定”概率有所降低，但高竞争力地区相对低竞争力地区的竞争力提升的抑制作用大于推动作用。

(3) 黄河流域绿色科技创新竞争力提升的障碍因素主要集中在绿色发展不足和成果转化不充分领域，单位 GDP 能耗、能源消费结构、能源消耗、开放程度和绿色科技论文发表数量的阻碍作用最为明显，不同省区的绿色科技创新竞争力障碍因素具有区域异质性。

6.2 建 议

(1) 黄河流域应加强内部跨地区合作，深度推进绿色科技创新一体化发展。首先，以山东、四川、陕西和河南为主体加快构建驱动黄河流域绿色科技创新发展的创新高地，充分发挥其横向创新联动的空间溢出效应，向甘肃、内蒙古、山西、宁夏和青海等绿色科技创新竞争力较低地区进行辐射，提升流域整体的绿色科技创新竞争力水平；其次，重点发挥兰州、西安、郑州和济南等中心城市的创新带动作用，通过中心城市间的创新合作以点带面，建立绿色科技创新合作新网络，促进流域各省区绿色科技创新联动发展。

(2) 沿黄各省区要因地制宜，积极探索绿色科技创新的差异化发展路径。山东要依托济南和青岛加快全省协同创新发展，实现全社会能源高效节控；四川要利用好成渝经济圈发展优势，积极扩大外部资本的利用规模，打造优质创新环境；河南应充分发挥郑州的创新带动作用，形成辐射全省的“核心+基地+网络”创新格局；陕西、山西和内蒙古均是中国的“能源大省”，应充分利用雄厚的能源产业基础，深度开展资源驱动型产业的转型升级；甘肃、青海和宁夏作为国家重点扶持区域，需进一步提升国家财政补贴质效，打造具有西部特色的绿色产业集群。

(3) 降低障碍因素对黄河流域绿色科技创新竞争力的影响，扭转被动发展局面。从障碍因素分析可知，能源消耗和对外开放是影响黄河流域绿色科技创新竞争力提升的关键因素，因此需要对其进行着重改善。能源方面，黄河流域应大力推广和应用高效节能技术提高能源利用率，同时鼓励各种清洁能源的开发利用，提高能源的多元化利用程度，减少传统能源消耗；对外开放方面，黄河流域应加快开辟绿色科技创新的区域合作新格局，对内加强与长江经济带、粤港澳大湾区等重大国家战略发展区域间

的战略合作，对外主动对接“一带一路”倡议沿线国家发展战略，加强面向欧美和东北亚的创新开放与合作。

参 考 文 献：

References：

[1] 黄承梁,马军远,魏 东,等. 中国共产党百年黄河流域保护和发展的历程、经验与启示[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(8):1-9.
HUANG Cheng-liang, MA Jun-yuan, WEI Dong, et al. History, Experience, and Enlightenment of CPC's Protection and High-quality Development of the Yellow River Basin[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(8): 1-9.

[2] 张肖阳. 新时代中国式现代化道路的“绿色演进”: 基于党的十八大、十九大和二十大报告的计算文本分析[J]. 山东社会科学, 2023(5): 27-36.
ZHANG Xiao-yang. The “Green Evolution” of Chinese Modernization Road in the New Era: A Computational Text Analysis Based on the Reports of the 18th, 19th and 20th CPC National Congresses [J]. Shandong Social Sciences, 2023(5): 27-36.

[3] ZHANG W, LI G, GUO F. Does Carbon Emissions Trading Promote Green Technology Innovation in China? [J]. Applied Energy, 2022, 315: 119012.

[4] 刘贝贝,左其亭,刁艺璇. 绿色科技创新在黄河流域生态保护和高质量发展中的价值体现及实现路径[J]. 资源科学, 2021, 43(2): 423-432.
LIU Bei-bei, ZUO Qi-ting, DIAO Yi-xuan. The Value and Pathways of Green Technology Innovation for the Ecological Conservation and High-quality Development of the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2021, 43(2): 423-432.

[5] 冯俊华,王 倩,郑广文. 黄河流域科技创新与新型城镇化耦合协调发展测度[J]. 地球科学与环境学报, 2022, 44(5): 826-838.
FENG Jun-hua, WANG Qian, ZHENG Guang-wen. Calculation on Coupling and Coordinated Development of Scientific-technological Innovation and New Urbanization in Yellow River Basin, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(5): 826-838.

[6] WANG Y M, CAO G H, YAN Y L, et al. Does High-speed Rail Stimulate Cross-city Technological Innovation Collaboration? Evidence from China[J]. Transport Policy, 2022, 116: 119-131.

[7] XUE L, ZHANG Q Y, ZHANG X M, et al. Can Digital Transformation Promote Green Technology Inno-

- vation? [J]. Sustainability, 2022, 14(12): 7497.
- [8] ZHANG X N, QU M. Impact of Environmental Regulation on Scientific and Technological Competitiveness of Resource-based Cities in China: Based on Panel Data of 33 Resource-based Cities [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(24): 9187.
- [9] 孙亚静, 韩爽, 杨柳. 基于“一带一路”的吉林省科技创新竞争力研究 [J]. 税务与经济, 2019(4): 106-112.
- SUN Ya-jing, HAN Shuang, YANG Liu. Research on Science and Technology Innovation Competitiveness of Jilin Province Based on “One Belt, One Road” [J]. Taxation and Economy, 2019(4): 106-112.
- [10] 杨云超, 刘笑男, 刘伟. 中国城市科技创新竞争力国际比较研究 [J]. 科技管理研究, 2022, 42(23): 104-111.
- YANG Yun-chao, LIU Xiao-nan, LIU Wei. An International Comparative Study on the Competitiveness of Science and Technology Innovation of Chinese Cities [J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(23): 104-111.
- [11] 李玲, 丁礼婷. 中国区域科技创新水平发展的时空演化及分布动态 [J]. 统计与决策, 2023, 39(21): 169-173.
- LI Ling, DING Li-ting. The Spatiotemporal Evolution and Distribution Dynamics of Regional Scientific and Technological Innovation Level Development in China [J]. Statistics & Decision, 2023, 39(21): 169-173.
- [12] 杨玄酯, 罗巍, 唐震. 生态位视角下长江经济带科技创新竞争力评价及演化 [J]. 软科学, 2019, 33(7): 8-14.
- YANG Xuan-zhi, LUO Wei, TANG Zhen. Evaluation and Evolution of Science, Technology and Innovation Competitiveness in the Yangtze River Economic Belt Based on Ecological Niche [J]. Soft Science, 2019, 33(7): 8-14.
- [13] LIU L, ZHANG Z S, WANG Z, et al. Health Evaluation and Key Influencing Factor Analysis of Green Technological Innovation System [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2022, 29(51): 77482-77501.
- [14] 段可仪. 金融发展支持省域绿色科技创新效率研究 [J]. 生态经济, 2023, 39(8): 77-85.
- DUAN Ke-yi. Research on the Efficiency of Provincial Green Technology Innovation Supported by Financial Development [J]. Ecological Economy, 2023, 39(8): 77-85.
- [15] LIU C Y, GAO X Y, MA W L, et al. Research on Regional Differences and Influencing Factors of Green Technology Innovation Efficiency of China's High-tech Industry [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2020, 369: 112597.
- [16] LV C C, SHAO C H, LEE C C. Green Technology Innovation and Financial Development: Do Environmental Regulation and Innovation Output Matter? [J]. Energy Economics, 2021, 98: 105237.
- [17] FARIA A P, BARBOSA N, BASTOS J. Portuguese Regional Innovation Systems Efficiency in the European Union Context [J]. European Planning Studies, 2020, 28(8): 1599-1618.
- [18] 孙中瑞, 樊杰, 孙勇, 等. 中国绿色科技创新效率空间关联网络结构特征及影响因素 [J]. 经济地理, 2022, 42(3): 33-43.
- SUN Zhong-rui, FAN Jie, SUN Yong, et al. Structural Characteristics and Influencing Factors of Spatial Correlation Network of Green Science and Technology Innovation Efficiency in China [J]. Economic Geography, 2022, 42(3): 33-43.
- [19] CHEN X Q, LIU X W, GONG Z W, et al. Three-stage Super-efficiency DEA Models Based on the Cooperative Game and Its Application on the R&D Green Innovation of the Chinese High-tech Industry [J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 156: 107234.
- [20] QIN Y T, DU J, JIA L J, et al. The Impact of OFDI on Green Technology Innovation in China [J]. E3S Web of Conferences, 2023, 409: 01009.
- [21] 许可, 张亚峰. 绿色科技创新能带来绿水青山吗? ——基于绿色专利视角的研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(5): 141-151.
- XU Ke, ZHANG Ya-feng. Can Green Technology Innovation Bring ‘Lucid Waters and Lush Mountains’? — A Study Based on the Perspective of Green Patent [J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(5): 141-151.
- [22] GUO Y Y, XIA X N, ZHANG S, et al. Environmental Regulation, Government R&D Funding and Green Technology Innovation: Evidence from China Provincial Data [J]. Sustainability, 2018, 10(4): 940.
- [23] MITTAL S K, MOMAYA K, SUSHIL. A Framework Conceptualization for National Technological Competitiveness [M] // SUSHIL, BHAL K T, SINGH S P. Managing Flexibility: People, Process, Technology and Business. New Delhi: Springer, 2016: 245-270.
- [24] WANG Y H, WU D D, LI H. Efficiency Measurement and Productivity Progress of Regional Green Techno-

logy Innovation in China: A Comprehensive Analytical Framework[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2022, 34(12): 1432-1448.

[25] 敦 帅,陈 强. 人力资本、经费保障与重大科研基础设施创新绩效:一项定性比较分析[J]. *科学学与科学技术管理*, 2023, 44(12): 37-50.

DUN Shuai, CHEN Qiang. Human Capital, Fund Guarantee and Innovation Performance of Large Scientific Research Infrastructure: A Qualitative Comparative Analysis[J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2023, 44(12): 37-50.

[26] LIU C, XIA G J. Research on the Dynamic Interrelationship Among R&D Investment, Technological Innovation, and Economic Growth in China[J]. *Sustainability*, 2018, 10(11): 4260.

[27] 沈世铭,许 睿,陈非儿. 中国绿色科技创新对碳排放强度的影响研究[J]. *技术经济与管理研究*, 2023(5): 28-34.

SHEN Shi-ming, XU Rui, CHEN Fei-er. Research on the Impact of China's Green Technological Innovation on Carbon Emission Intensity[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2023(5): 28-34.

[28] 刘 东,胡宏伟. 中国社会保障事业高质量发展综合测度及差异性研究[J]. *经济体制改革*, 2023(3): 34-42.

LIU Dong, HU Hong-wei. Comprehensive Measurement and Difference Research on High-quality Development of China's Social Security Undertakings[J]. *Reform of Economic System*, 2023(3): 34-42.

[29] CUI Z Y, KIRKBY I L, NGUYEN D. Efficient Simulation of Generalized SABR and Stochastic Local Volatility Models Based on Markov Chain Approximations[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 290(3): 1046-1062.

[30] 肖仁桥,宋 莹,钱 丽. 企业绿色创新产出及其空间溢出效应研究:基于两阶段价值链视角[J]. *财贸研究*, 2019, 30(4): 71-83.

XIAO Ren-qiao, SONG Ying, QIAN Li. Research on Spatial Spillover Effect of Enterprises' Green Innovation Output from the Perspective of Value Chain in Two Stages[J]. *Finance and Trade Research*, 2019, 30(4): 71-83.

[31] 王晓辰,韩增林,彭 飞,等. 中国海洋科技创新效率发展格局演变与类型划分[J]. *地理科学*, 2020, 40(6): 890-899.

WANG Xiao-chen, HAN Zeng-lin, PENG Fei, et al. Development Pattern and Typical Zone of Marine Scientific and Technological Innovation Efficiency in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(6): 890-899.

[32] 张 超,宋晓华,孙亚男. 黄河流域科技创新效率差异测度、来源分解与形成机理[J]. *经济与管理评论*, 2021, 37(6): 38-50.

ZHANG Chao, SONG Xiao-hua, SUN Ya-nan. Measurement of Efficiency Difference, Source Decomposition and Formation Mechanism of Scientific and Technological Innovation in the Yellow River Basin[J]. *Review of Economy and Management*, 2021, 37(6): 38-50.

[33] 王 军,李宏伟,苏展波. 工业集聚与绿色能源效率提升:基于黄河流域的实证分析[J]. *工业技术经济*, 2023, 42(4): 117-123.

WANG Jun, LI Hong-wei, SU Zhan-bo. Industrial Agglomeration and Green Energy Efficiency Improvement: An Empirical Analysis Based on the Yellow River Basin[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2023, 42(4): 117-123.