doi. 10. 3724/1005-0566. 20251010

# 中国八大综合经济区绿色创新生态系统的水平测度、区域差异与障碍因素研究

向蓓姗,赵　峰

(对外经济贸易大学政府管理学院,北京　100029)

**摘　要**:面向绿色低碳与创新驱动的双重战略目标,综合分析国家区域绿色创新生态系统发展水平意义重大。通过逐层纵横向拉开档次法、基于熵值的非线性规划法和 TOWA-GA 混合算子,测度八大综合经济区 2017—2023 年绿色创新生态系统发展水平;借助 Dagum 基尼系数、莫兰指数,揭示其区域差异与空间分布特征;再以障碍度模型诊断主要障碍因素。研究发现:八大综合经济区绿色创新生态系统发展水平呈波动上升趋势,区域梯度特征显著;区域总体差异主要源自区域间经济活动交叉重叠,区域内和区域间差异贡献率较低;发展水平呈空间正相关性,"同质特征为主导、异质特征为补充"的空间关联形态逐步形成;规制强度是首要障碍因素,资金资源、人才资源和技术主体不足亦构成制约。建议差异化综合施策,构建八大综合经济区绿色创新生态系统协同发展格局。

**关键词**:八大综合经济区;绿色创新生态系统;TOWA-GA 混合算子;Dagum 基尼系数;空间分析;障碍度模型

**中图分类号**:F061. 5; X321　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1005 - 0566(2025)10 - 0106 - 12

## Research on the level measurement, spatio-temporal evolution, and obstacle factors of green innovation ecosystems in China's eight comprehensive economic zones

XIANG Beishan, ZHAO Feng

(*School of Government*, *University of International Business and Economics*, *Beijing* 100029, *China*)

**Abstract**: Against the dual strategic objectives of green-low-carbon development and innovation-driven development, a comprehensive analysis of the evolution of China's regional green innovation ecosystems holds significant implications. Utilizing the layer by layer vertical and horizontal scatter degree method, entropy-based nonlinear programming, and a hybrid TOWA-GA operator, this study measures the development levels of green innovation ecosystems across the eight comprehensive economic zones from 2017 to 2023. The Dagum Gini coefficient and Moran's I index are further utilized to elucidate regional disparities and spatial distribution characteristics. An obstacle degree model is adopted to diagnose critical constraining factors. Key findings reveal that: the development level of green innovation ecosystems across the eight comprehensive economic zones has risen with fluctuations, marked by pronounced regional gradients. Cross-regional overlap dominates overall variation, while intra- and inter-regional differences contribute marginally. Significant

**收稿日期**:2025-01-09　　**修回日期**:2025-10-10

**基金项目**:国家自然科学基金面上项目"能源绿色转型的路径与优化:基于生态足迹的视角"(72273151);对外经济贸易大学研究生科研创新基金资助项目"创新生态系统视角下中国科技型企业集聚路径研究"(202574);国家社会科学基金一般项目"区域数字人才生态系统评价与优化策略研究"(25BGL234)。

**作者简介**:向蓓姗(1994—),女,湖南郴州人,对外经济贸易大学政府管理学院博士生,研究方向为区域创新发展、政策规划与治理。通信作者:赵峰。

positive spatial autocorrelation emerges, with spatial linkages evolving toward homogeneous clustering supplemented by heterogeneous dispersion. Regulatory intensity constitutes the primary obstacle; shortages in financial resources, talent pools, and technological entities present additional challenges. It is suggested that differentiated and comprehensive measures should be implemented to construct a coordinated development pattern of green innovation ecosystems in the eight comprehensive economic zones.

**Key words**: eight comprehensive economic zones; green innovation ecosystem; TOWA-GA hybrid operator; Dagum Gini coefficient; spatial analysis; obstacle model

当前,推进绿色低碳转型以确保经济社会高质量、可持续发展已成为全球共识。近年来,党和国家相继出台了一系列战略规划,为构建绿色创新发展高地创造了有利政策环境。2022 年,党的二十大报告指出,推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节。2025 年,《政府工作报告》提出“协同推进降碳减污扩绿增长,加快经济社会发展全面绿色转型”,进一步将绿色发展提升至核心战略地位。中国经济社会绿色转型步伐日益加快,绿色技术创新硕果累累,成为推动新旧动能转化的关键要素。2016—2023 年,中国绿色低碳专利申请公开量累计达 57.3 万件,占全球的 44.9%,年均增速远超全球平均水平,中国成为全球布局绿色技术创新最积极的国家[1]。过去 40 来年,对外开放和市场化改革推动了中国经济的高速增长,而当下急需新的增长引擎。2024 年,国际货币基金组织(IMF)指出,中国在绿色创新领域一直保持着全球领先地位,绿色创新有望成为中国经济增长的新动能[2]。尽管如此,我国在推进绿色创新的过程中仍面临技术瓶颈、引导机制不充分及区域发展失衡等诸多挑战。要实现科技创新与绿色经济的深度融合,必须建立系统性思维,重视创新生态系统间各要素互动所创造的整体效应[3]。因此,立足创新生态系统理论和绿色创新理念,对中国区域绿色创新生态系统发展水平进行科学测度和综合分析尤为必要。

区域协调发展一直是中国宏观政策关注的重点维度之一,随着国家对区域协调发展规律的理解逐渐加深,区域战略布局的空间尺度也更趋细化[4]。在此背景下,国务院发展研究中心以四大板块为基础,划分形成八大综合经济区,旨在构建优势互补、均衡发展的区域经济布局和国土空间体系。而绿色创新发展将成为缩小区域发展差距、促进高质量发展的重要纽带。本文重点关注以下问题:如何科学构建绿色创新生态系统的指标体系以为后续研究奠定基础?八大综合经济区绿色创新生态系统发展水平存在怎样的区域差异?八大综合经济区绿色创新生态系统发展水平呈现何种空间分布特征?绿色创新生态系统发展的关键障碍因素有哪些?回答上述问题对于推动八大综合经济区绿色创新生态系统协同发展具有重要的理论价值和现实意义。

## 一、研究进展与评价

“绿色创新”概念最早可以追溯到 Fussler 等[5]的研究,他们将其定义为企业环境责任行为,重点关注企业怎样通过技术与管理创新,将环境保护融入发展战略以获取竞争优势。后续学者进一步拓展其定义,认为绿色创新还包括政府、联盟、协会等主体为减轻环境压力、实现可持续发展所采取的行动,涵盖绿色技术研发应用[6]、社会制度革新、政策法规执行及公众环保意识提升等多个层面[7]。2008 年,OECD[8]对绿色创新内涵进行归纳,指出绿色创新是能显著改善生态环境问题的各类创新行为,包括生产工艺、营销手段、组织结构与制度安排等。此后,绿色创新研究在国际上迎来高潮,逐渐成为环境经济学、创新经济学、企业战略管理和产业组织理论共同关注的交叉领域[9]。环境经济学热衷于探讨环境规制对企业绿色创新的不同影响,这种不同既体现在规制手段上,又体现在作用对象上,表现为经济规制能显著提升企业绿色创新水平,而行政规制作用效果较弱[10],尤其是在国有企业和小企业身上不明显[11]。创新经济学借助创新理论剖析企业开展绿色创新的动机与效用,将绿色创新动因分为技术推动、市场拉动和政府规制[12],将绿色创新结果分为产品创新与过程创新[13]。企业战略管理以微观

视角研究绿色创新战略如何塑造企业竞争优势[14]。产业组织理论则侧重考察市场结构对企业绿色创新的影响[15]。然而,前期研究往往采用单一指标衡量绿色创新水平,如绿色专利或绿色研发支出[16]。随着研究的深入,更多综合性指标被引入,包括绿色创新能力、绿色创新效率等[17],方法包括多准则决策分析、随机前沿分析和数据包络分析等[18]。

尽管上述研究从不同维度展开探讨,但仍局限于企业或组织层面。绿色创新系统将视角拓展至全产业链,涵盖上下游企业的协同创新与产业集群内部的互动合作,重点围绕绿色技术研发、绿色供应链改进和绿色业态培育,通过各主体间的策略博弈促进创新目标达成[19]。绿色创新存在双重外部性。一方面科技创新本身具有高风险,另一方面环境效益转化为经济效益具有高难度[20]。尤其面对日益加剧的全球环境问题和复杂多变的全球竞争格局,以绿色为核心的突破式创新往往需要多要素的协同配合[21]。因此,如何有效驱动绿色创新逐渐成为企业、政府乃至社会各界需共同应对的系统性问题。绿色创新生态系统借鉴创新生态系统理论,强调绿色创新活动在复杂系统内的相互作用、协同演化及其对经济社会可持续发展的影响[22]。它在绿色创新系统上拓展了生态维度,体现绿色创新活动与经济社会环境的深度融合;它在创新生态系统上拓展了绿色产业功能,结合各地要素禀赋和创新条件践行不同绿色价值主张,从而整体、递进地推动区域绿色转型发展。

绿色创新生态系统研究从以下 3 个方面展开。第一,绿色创新生态系统的理论内涵。现有研究依托既有理论拓展了绿色经济领域创新合作的定义,研究差异体现在不同理论视角上。Madsen[23]基于自然资源观,认为绿色创新生态系统是一种围绕绿色创新活动展开的商业研发合作。曾经纬等[24]利用超循环理论对绿色创新生态系统生成过程进行阐释,并着重强调绿色创新主体、要素与环境间的共生竞合与复杂互动。李梦等[25]结合生态系统理论、共生理论和演化博弈理论,认为绿色创新生态系统是核心组织围绕绿色价值共创目标形成的动态演化系统。由此可见,绿色发展目标、要素相互作用、系统动态变化是绿色创新生态系统三大核心要点。第二,绿色创新生态系统的功能作用。学者普遍认为,绿色创新生态系统建设能够提升企业创新能力,研究差异体现在作用机制上。Chin 等[26]基于动态能力视角,验证了绿色创新生态系统通过参与者网络的沟通协调机制促进企业绿色创新。Zhang 等[27]重点关注绿色创新生态系统内各主体的绿色实践经验如何影响企业的绿色创新绩效。这些结论为构建和评价区域绿色创新生态系统提供了多元见解。第三,绿色创新生态系统的水平测度。研究差异体现在指标体系建构上。郑玉雯等[28]基于共生理论,采用 DEMATEL 方法筛选出影响国家高新区绿色创新生态系统的关键指标,构建“共生单元—共生模式—共生环境”分析框架。李璐等[4]基于创新生态系统理论,构建“创新环境—创新资源—创新主体”分析框架,采用熵值法完成测度。上述研究在一定程度上体现绿色创新的系统性思维,为本文研究提供了有益启示。

综上所述,从“绿色创新”“绿色创新系统”到“绿色创新生态系统”的演变,反映了绿色技术创新、资源高效利用、环境保护与经济增长协同推进的现状与潜力。然而,既有研究在测度方法与综合分析上均存在一定局限性。具体表现为:第一,在指标构建上,部分指标解释力度不够,难以全面体现绿色创新主旨;第二,在测度方法上,现有研究多基于熵值法确定指标权重,忽略了时间权重影响,静态指标权重分配与系统动态演变特征不符,导致测度失之偏颇;第三,在分析视角上,现有研究多聚焦城市、省际层面,以八大综合经济区为对象的研究较少;第四,在分析维度上,缺乏对八大综合经济区绿色创新生态系统发展的区域差异比较、空间特征分析和障碍因素诊断的系统性研究。

鉴于此,本文紧扣绿色创新发展要求,基于创新生态系统理论构建多层级指标体系,按八大综合经济区划分,结合逐层纵横向拉开档次法、基于熵值的非线性规划法、TOWA-GA 混合算子、Dagum

基尼系数分解法、莫兰指数及障碍度模型,从动态视角综合分析中国绿色创新生态系统的发展水平、区域差异、空间分布特征与关键障碍因素。本文研究的边际贡献在于:第一,完善了区域绿色创新生态系统评价框架;第二,引入时间权重,弥补以往研究在区域层面动态分析的不足;第三,立足八大综合经济区视角,全面分析中国不同地域单元绿色创新生态系统的发展水平,得出原创性结论。研究结果为制定差异化绿色创新发展战略提供了更为科学、精准的理论依据与实践指导。

## 二、指标构建与数据来源

### (一) 指标构建

指标构建的科学性是保证评价有效性的前提。绿色创新生态系统是多元主体参与的复杂系统,融合绿色低碳理念与创新生态系统理论,致力于实现环境保护和社会福祉的双重目标,展现创新主体利用绿色技术等创新资源推动绿色经济转型的积极响应[29]。据此,本文构建涵盖绿色创新环境、绿色创新资源和绿色创新主体 3 个准则层的指标体系,全面刻画绿色创新生态系统的整体情况(见表 1)。

首先,绿色创新生态系统的高效运行需要良好的绿色创新环境作为支撑。其中,完善的绿色基础设施为绿色创新活动提供基本保障;政府环境规制为绿色创新活动赋予合法性支撑[30];绿色金融则能缓解绿色创新主体的融资约束,为绿色创新活动带来有利的投融资环境[31]。本文选取 10 个二级指标,分别对绿色基础设施、绿色规制强度和绿色金融环境进行评价。其次,绿色创新活动因其高投入、高风险和高不确定性,需依赖资金、人才、技术等大量资源支撑,这些绿色创新资源的整合协同为可持续创新发展创造必要物质条件[32]。本文选取 8 个二级指标,分别对绿色资金资源、绿色人才资源和绿色技术资源进行评价。最后,绿色创新主体是驱动绿色创新生态系统运转的主观能动力量,包括高校、科研机构等绿色知识主体,以及企业等绿色技术主体[4]。本文选取 5 个二级指标,分别对绿色知识主体和绿色技术主体进行评价。本文构建的绿色创新生态系统综合评价指标体系共涵盖 3 个准则层、8 个一级指标和 23 个代表性二级指标。

**表 1　绿色创新生态系统的综合评价指标体系**

| 准则层 | 权重 | 一级指标 | 权重 | 二级指标 | 属性 | 权重 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 绿色创新环境 | 0.441 | 绿色基础设施 | 0.344 | 工业废水治理设施数 | + | 0.253 |
| | | | | 工业废气治理设施数 | + | 0.309 |
| | | | | 环境基础设施建设投资/GDP | + | 0.438 |
| | | 绿色规制强度 | 0.214 | 工业污染治理完成投资/GDP | + | 0.528 |
| | | | | 废水排放总量/GDP | — | 0.37 |
| | | | | 二氧化硫排放总量/GDP | — | 0.042 |
| | | | | 一般工业固体废物产生量/GDP | — | 0.06 |
| | | 绿色金融环境 | 0.442 | 环境污染责任保险收入/总保费收入 | + | 0.306 |
| | | | | 绿色债券发行总额/所有债券发行总额 | + | 0.267 |
| | | | | 碳交易、用能权交易、排污权交易/权益市场交易总额 | + | 0.427 |
| 绿色创新资源 | 0.345 | 绿色资金资源 | 0.618 | 财政环境保护支出/财政一般预算支出 | + | 0.07 |
| | | | | 绿色基金总市值/所有基金总市值 | + | 0.514 |
| | | | | 环保项目信贷总额/全省信贷总额 | + | 0.416 |
| | | 绿色人才资源 | 0.206 | 高新技术企业年末从业人员 | + | 0.293 |
| | | | | 高新技术企业 R&D 人员全时当量 | + | 0.266 |
| | | | | 国家大学科技园从业人员 | + | 0.441 |
| | | 绿色技术资源 | 0.176 | 各省市绿色专利申请量 | + | 0.541 |
| | | | | 各省市绿色专利获得量 | + | 0.459 |
| 绿色创新主体 | 0.214 | 绿色知识主体 | 0.547 | 拥有绿色专利的科研机构数 | + | 0.576 |
| | | | | 国家大学科技园数 | + | 0.424 |
| | | 绿色技术主体 | 0.453 | 拥有绿色专利的上市企业数 | + | 0.2 |
| | | | | 高新技术企业数 | + | 0.16 |
| | | | | 绿色工厂数 | + | 0.64 |

### (二) 数据来源

用于评价的数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国火炬统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国保险年鉴》《中国金融年鉴》。此外,绿色专利数据来源于 CNRDS 数据库,上市企业信息来源于 CSMAR 数据库,拥有绿色专利的上市企业数,通过匹配 CNRDS 数据库中获得绿色专利的上市企业和 CSMAR 数据库中的上市企业信息得到。拥有绿色专利的科研机构数由人工查找并筛选得到。绿色工厂数来源于工业和信息化部发布的年度“绿色制造名单”。数据样本时间跨度为 2017—2023 年,负向指标数据经过了倒数正向化处理。

## 三、研究方法

### (一) 测度方法

1. 逐层纵横向拉开档次法

逐层纵横向拉开档次法是一种动态的指标权重测度方法,在郭亚军[33]提出的“纵横向”拉开档次法基础上,通过自下而上逐层加权,对底层数据

进行加工整合。此方法既充分考虑了时间序列的影响,又未忽视各层次子系统间的关联,从而得到更加科学的测度结果。

第一,对于一个评价指标体系,假设其有 $n$ 个大系统(准则层),记作 $s_i$ ,每个大系统分别有 $p$ 层(一级指标),每层有 $n_p$ 个子系统(二级指标)。给定 $n$ 个评价对象,每个评价对象有 $m$ 项评价指标,按时间顺序构建原始数据集 $\{x_{ij}(t_k)\}$,代表第 $i$ 个评价对象在第 $k$ 年的第 $j$ 项评价指标的观测值。其中,$k=1,2,\cdots,T$;$i=1,2,\cdots,n$;$j=1,2,\cdots,m$[34]。

第二,确定子系统的指标权重。基于第 $p-1$ 层第 $q$ 个子系统在第 $k$ 年的指标数据集,得出其综合评价值为:

$$y_i^{(p-1,q)}(t_k) = \sum_{j=1}^{n_p} \omega_j x_{ij}^{(p-1,q)}(t_k) \tag{1}$$

以最大化各评价对象之间的差异为目标,即要使 $y_i^{(p-1,q)}(t_k)$ 的总离差平方和最大,则权重系数 $\omega_j$ 为:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} \left[ y_i^{(p-1,q)}(t_k) - \bar{y} \right]^2 \tag{2}$$

此处原始数据已经过标准化处理,因此 $\bar{y}=0$,于是有:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \sum_{k=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} \left[ y_i^{(p-1,q)}(t_k) - \bar{y} \right]^2 = \\ &\quad \sum_{k=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} \left[ y_i^{(p-1,q)}(t_k) \right]^2 \\ &= \sum_{k=1}^{T} \left[ \omega^{\mathrm{T}} H_k \omega \right] = \omega^{\mathrm{T}} H \omega\end{aligned} \tag{3}$$

式(3)中,$\omega = (\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_m)^{\mathrm{T}}$,$H = \sum_{k=1}^{N} H_k$ 是 $m$ 阶对称矩阵;$H_k = A_k^{\mathrm{T}} A_k$ $(k=1,2,\cdots,N)$。

为达到指标权重的基本标准,限定 $\omega^{\mathrm{T}}\omega = 1$,则权重系数 $\omega$ 可通过求解下列非线性规划问题得到:

$$\max \omega^{\mathrm{T}} H \omega \tag{4}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \|\omega\| = 1 \\ \omega > 0 \end{cases} \tag{5}$$

当权重系数向量 $\omega$ 为矩阵 $H$ 的最大特征值 $\lambda_{\max}(H)$ 所对应的特征向量时,$\sigma^2$ 取最大值。

第三,确定各层次系统的综合评价值,重复上述步骤,逐层向前迭代,最终求得第一层系统的综合评价值[35]为:

$$y_i^{(1,1)}(t_k) = \sum_{q=1}^{n_p} \omega_q y_j^{(2,q)}(t_k) \tag{6}$$

2. 基于熵值的非线性规划法

基于熵值的非线性规划法通过构建熵指数,并引入时间度 $\varphi$ 来测算时间权重 $\lambda = (\lambda_1,\lambda_2,\cdots,\lambda_k)$,以区分不同指标在不同时间的重要程度。根据时间权重确立原则,要使 $\{\lambda_k\}$ 差异最小,则权重系数 $\lambda$ 可通过求解下列非线性规划问题得到:

$$\max\left(-\sum_{k=1}^{T} \lambda_k \ln \lambda_k\right) \tag{7}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \varphi = \sum_{k=1}^{T} \dfrac{T-k}{T-1} \lambda_k \\ \sum_{k=1}^{T} \lambda_k = 1, \lambda_k \in [0,1] \end{cases} \tag{8}$$

式(8)中,$\max\left(-\sum_{k=1}^{T} \lambda_k \ln \lambda_k\right)$ 是时间权重向量 $\lambda_k$ 的熵,熵越大说明包含的信息量越小;时间度 $\varphi$ 用来衡量不同时间段的重要程度,$\varphi \in [0,1]$,$\varphi$ 越趋于 0,说明越重视近期数据,$\varphi$ 越趋于 1,说明越重视远期数据。参考郭亚军等[36]的研究,时间度 $\varphi$ 取 0.35,最终求得各年度的时间权重(见表 2)。

**表 2　2017—2023 年时间权重计算结果**

| 年份 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 时间权重 | 0.064 | 0.08 | 0.101 | 0.128 | 0.162 | 0.205 | 0.26 |

3. TOWA-GA 混合算子

TOWA-GA 混合算子是将时序加权平均(TOWA)算子与时序几何平均(TOWGA)算子组合使用的测度模型,可以更好地发挥以上时间权重在综合评价过程中的作用[34]。

第一,定义时序加权平均算子。令 $N=\{1,2,\cdots,n\}$,定义 $\langle u_i,a_i\rangle$ $(i \in N)$ 是 TOWA 对,$u_i$ 是时间诱导分量,$a_i$ 是数据分量,则时序加权平均算子为:

$$F = (\langle u_1,a_1\rangle,\cdots,\langle u_n,a_n\rangle) = \sum_{j=1}^{n} \omega_j b_j \tag{9}$$

式(9)中,$\omega_j$ 是第 $j$ 年的时间权重,$\omega_j \in [0,1]$,$b_j$ 是第 $j$ 年的评价值,函数 $F$ 是 $n$ 维时序加权平均算子,其结果为对时间加权后的评价值。

第二,定义时序几何平均算子。令 $N=\{1,2,\cdots,n\}$,定义 $\langle u_i,a_i\rangle$ $(i \in N)$ 是 TOWGA 对,$u_i$ 是时间诱导分量,$a_i$ 是数据分量,则时序几何平均算子为:

$$G = (\langle u_1, a_1 \rangle, \cdots, \langle u_n, a_n \rangle) = \prod_{j=1}^{n} b_j^{\omega_j} \quad (10)$$

式(10)中，$\omega_j$ 和 $b_j$ 的含义同上，函数 $G$ 是 $n$ 维时序几何平均算子，其结果为对时间加权后的评价值。

时序加权平均算子是线性加权累和，更加突出系统发展的功能性；时序几何平均算子是几何加权累积，更加突出系统发展的均衡性。结合两类算子优势既能全面评估各时间段的发展水平，又能精准识别样本期内的发展短板。

第三，结合上述两类算子，引入 TOWA-GA 混合算子：

$$Y(\langle u_i, a_i \rangle, \cdots, \langle u_N, a_N \rangle) = \alpha_1 F + \alpha_2 G \quad (11)$$

则测度对象 $i$ 在样本期内的综合评价值为：

$$Y_i = \alpha_1 F_i + \alpha_2 G_i \quad (12)$$

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2} \qquad \alpha_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (13)$$

$$\sigma_i = \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (14)$$

式(14)中，$\sigma_1$ 和 $\sigma_2$ 分别为两类算子的离差平方和。

**（二）Dagum 基尼系数**

Dagum 基尼系数在基尼系数的基础上进行了改进，摒弃了传统的正态分布和同方差假设，转而引入 Dagum 分布，通过将区域差异分解为组内差异、组间差异和超变密度 3 个部分，以更有效地识别区域差距的来源问题[37]。本文采取 Dagum 基尼系数分析中国八大综合经济区绿色创新生态系统发展水平的空间差异，计算公式参考李旭辉等[34]的研究，不再赘述。

**（三）莫兰指数**

莫兰指数(Moran's I)可以分析地理要素的关联、集聚和离散现象。全局莫兰指数用于度量地理要素在整个区域中的空间自相关性，局部莫兰指数则用于识别地理要素在部分区域的空间聚类情况和异常值。莫兰指数取值范围为[-1,1]，其值越接近 1 表示空间集聚程度越高；其值越接近 -1表示空间离散程度越高；值接近 0 表示空间分布随机。本文采取莫兰指数对绿色创新生态系统发展水平进行空间相关性分析，计算公式参考李贝等[38]的研究，不再赘述。

**（四）障碍度模型**

障碍度模型通过量化准则层和指标层的权重，计算各指标的因子贡献度及偏离度，基于上述结果得到的障碍度可用于识别影响区域绿色创新生态系统发展的关键因素。计算公式参考王向前等[39]的研究，不再赘述。

## 四、结果与分析

**（一）八大综合经济区绿色创新生态系统的发展水平测度**

1. 绿色创新生态系统整体发展趋势

根据上述方法，通过 Python 编程计算 2017—2023 年中国八大综合经济区 31 个省份(不含港澳台)绿色创新生态系统的发展水平，结果如表 3 所示。第一，全国约 80% 的地区呈增长趋势，东部沿海的浙江年均增长率最高，达 9.64%；约 20% 的地区呈负增长，主要集中于大西北和黄河中游。第二，八大综合经济区发展不均衡，沿海地区明显高于其他地区，全国排名前 5 位的省份依次为南部沿海的广东、东部沿海的江浙沪及北部沿海的北京；黄河中游和大西北省份则普遍靠后。第三，部分综合经济区存在内部发展差异，北部沿海的天津明显落后于区域内其他省市，南部沿海的广东则大幅领先于区域内其他省份。综合来看，2017—2023 年中国八大综合经济区绿色创新生态系统发展水平呈上升趋势，但整体发展水平仍不高，且区域发展失衡。绿色创新生态系统的健康运行，既需提升总体质量，更需强化区域协同共进，以促进经济绿色转型与高质量发展。

2. 绿色创新生态系统准则层指标发展趋势

图 1 展示了绿色创新生态系统准则层指标的发展趋势。三大准则层指标发展趋势有别，且不同综合经济区各准则层指标变化形态各异。第一，从绿色创新环境维度看，东北、长江中游、大西南和三大沿海经济区均在波动中上升，黄河中游和大西北则呈下降趋势，其中东部沿海增长率高达 78.9%，发展迅猛。第二，从绿色创新资源维度看，仅南部沿海与大西北呈略为波动的“M”型发展趋势，其余经济区均缓慢上升。第三，从绿色创新主体维度看，所有经济区均在波动中上升，三大

**表 3　2017—2023 年八大综合经济区绿色创新生态系统的测度结果**

| 区域划分 | | 2017 年 | 2018 年 | 2019 年 | 2020 年 | 2021 年 | 2022 年 | 2023 年 | 年均增长率/% | 综合值 | 排名 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 东北综合经济区 | 黑龙江 | 0. 327 | 0. 357 | 0. 385 | 0. 356 | 0. 406 | 0. 408 | 0. 504 | 6. 4 | 0. 275 | 11 |
| | 吉林 | 0. 17 | 0. 204 | 0. 188 | 0. 222 | 0. 219 | 0. 244 | 0. 354 | 11 | 0. 197 | 24 |
| | 辽宁 | 0. 326 | 0. 317 | 0. 352 | 0. 372 | 0. 395 | 0. 411 | 0. 487 | 5. 89 | 0. 271 | 12 |
| 北部沿海综合经济区 | 北京 | 0. 528 | 0. 527 | 0. 547 | 0. 546 | 0. 611 | 0. 475 | 0. 609 | 2. 06 | 0. 343 | 4 |
| | 天津 | 0. 168 | 0. 182 | 0. 198 | 0. 207 | 0. 201 | 0. 222 | 0. 313 | 9. 24 | 0. 185 | 25 |
| | 河北 | 0. 33 | 0. 349 | 0. 407 | 0. 387 | 0. 404 | 0. 426 | 0. 487 | 5. 71 | 0. 277 | 10 |
| | 山东 | 0. 337 | 0. 39 | 0. 454 | 0. 452 | 0. 474 | 0. 507 | 0. 574 | 7. 92 | 0. 312 | 6 |
| 东部沿海综合经济区 | 上海 | 0. 491 | 0. 493 | 0. 513 | 0. 542 | 0. 564 | 0. 57 | 0. 621 | 3. 42 | 0. 347 | 3 |
| | 江苏 | 0. 455 | 0. 518 | 0. 569 | 0. 596 | 0. 656 | 0. 681 | 0. 699 | 6. 33 | 0. 384 | 2 |
| | 浙江 | 0. 309 | 0. 371 | 0. 459 | 0. 468 | 0. 511 | 0. 562 | 0. 588 | 9. 64 | 0. 324 | 5 |
| 南部沿海综合经济区 | 广东 | 0. 464 | 0. 561 | 0. 657 | 0. 681 | 0. 742 | 0. 774 | 0. 687 | 5. 76 | 0. 411 | 1 |
| | 福建 | 0. 277 | 0. 306 | 0. 343 | 0. 306 | 0. 345 | 0. 354 | 0. 407 | 5. 63 | 0. 242 | 18 |
| | 海南 | 0. 353 | 0. 436 | 0. 336 | 0. 423 | 0. 378 | 0. 362 | 0. 358 | 0. 23 | 0. 251 | 15 |
| 黄河中游综合经济区 | 内蒙古 | 0. 394 | 0. 339 | 0. 255 | 0. 181 | 0. 232 | 0. 117 | 0. 181 | −10. 49 | 0. 16 | 27 |
| | 山西 | 0. 394 | 0. 381 | 0. 353 | 0. 301 | 0. 192 | 0. 165 | 0. 206 | −8. 82 | 0. 18 | 26 |
| | 河南 | 0. 188 | 0. 238 | 0. 272 | 0. 235 | 0. 256 | 0. 272 | 0. 331 | 8. 42 | 0. 204 | 21 |
| | 陕西 | 0. 285 | 0. 324 | 0. 319 | 0. 332 | 0. 339 | 0. 35 | 0. 412 | 5. 4 | 0. 243 | 17 |
| 长江中游综合经济区 | 湖北 | 0. 273 | 0. 314 | 0. 333 | 0. 343 | 0. 353 | 0. 395 | 0. 48 | 8. 41 | 0. 261 | 14 |
| | 湖南 | 0. 302 | 0. 312 | 0. 365 | 0. 36 | 0. 369 | 0. 414 | 0. 555 | 9. 09 | 0. 278 | 9 |
| | 江西 | 0. 19 | 0. 209 | 0. 243 | 0. 245 | 0. 239 | 0. 243 | 0. 344 | 8. 88 | 0. 2 | 22 |
| | 安徽 | 0. 198 | 0. 252 | 0. 23 | 0. 233 | 0. 235 | 0. 267 | 0. 311 | 6. 64 | 0. 197 | 23 |
| 大西南综合经济区 | 四川 | 0. 208 | 0. 217 | 0. 244 | 0. 265 | 0. 275 | 0. 296 | 0. 35 | 7. 74 | 0. 212 | 19 |
| | 重庆 | 0. 307 | 0. 344 | 0. 362 | 0. 354 | 0. 361 | 0. 359 | 0. 386 | 3. 3 | 0. 247 | 16 |
| | 云南 | 0. 105 | 0. 123 | 0. 125 | 0. 126 | 0. 116 | 0. 12 | 0. 15 | 5. 2 | 0. 13 | 29 |
| | 贵州 | 0. 358 | 0. 37 | 0. 316 | 0. 412 | 0. 409 | 0. 458 | 0. 58 | 7. 14 | 0. 293 | 7 |
| | 广西 | 0. 382 | 0. 349 | 0. 34 | 0. 41 | 0. 408 | 0. 431 | 0. 529 | 4. 77 | 0. 283 | 8 |
| 大西北综合经济区 | 甘肃 | 0. 371 | 0. 346 | 0. 356 | 0. 37 | 0. 394 | 0. 4 | 0. 442 | 2. 55 | 0. 264 | 13 |
| | 青海 | 0. 104 | 0. 078 | 0. 144 | 0. 05 | 0. 074 | 0. 057 | 0. 113 | 1. 15 | 0. 106 | 31 |
| | 宁夏 | 0. 481 | 0. 42 | 0. 291 | 0. 339 | 0. 285 | 0. 152 | 0. 354 | −4. 29 | 0. 2115 | 20 |
| | 新疆 | 0. 198 | 0. 534 | 0. 102 | 0. 102 | 0. 093 | 0. 073 | 0. 108 | −8. 36 | 0. 119 | 30 |
| | 西藏 | 0. 658 | 0. 584 | 0. 148 | 0. 007 | 0. 175 | 0. 075 | 0. 135 | −20. 24 | 0. 137 | 28 |

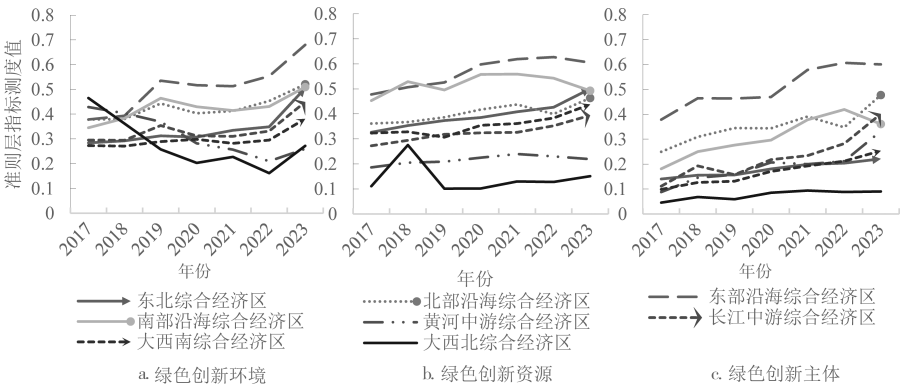



图 1　八大综合经济区绿色创新生态系统准则层指标发展趋势

沿海经济区发展水平较高,黄河中游与长江中游增速较快。综合来看,在三大准则层中,绿色创新环境发展水平最高、区域差距较小,而绿色创新资源与绿色创新主体的发展水平较低,且区域梯度分化更显著;在综合经济区层面,东部沿海在三大维度均表现最优,南部、北部沿海紧随其后,广大中西部经济区仍有较大提升空间。

**(二) 八大综合经济区绿色创新生态系统的区域差异分析**

1. 绿色创新生态系统的区域内差异

图 2 展示了绿色创新生态系统的区域内基尼系数。八大综合经济区绿色创新生态系统内部发

展差异不尽相同,大西北内部差异最大,东部沿海内部差异最小。从演变趋势看,大西北变动最为剧烈,呈反复升降的“W”型波动;黄河中游和长江中游波动上升;东北和三大沿海经济区波动下降;大西南变动平稳。因此,应重点关注内部差异最大且波动最剧烈的大西北经济区,同时重视黄河中游和长江中游经济区的差异拉大现象。

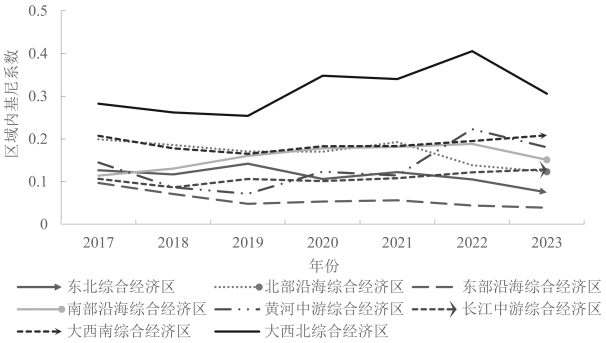



图2　八大综合经济区绿色创新生态系统的区域内基尼系数

2. 绿色创新生态系统的区域间差异

表4展示了绿色创新生态系统区域间基尼系数的分组。参考国际通用的收入基尼系数划分标准,所有区域被分为3类。第一,有5组差距较大,包括大西北与大西南、三大沿海经济区之间,以及黄河中游与东部沿海的对比。第二,有14组差距适中,涵盖三大沿海与中西部、中部与西部经济区的对比。第三,有9组差距较小,包括三大沿海经济区之间,黄河中游、大西南与长江中游,以及东北与北部沿海、黄河中游、长江中游、大西南的对比。综合来看,三大沿海综合经济区因地理位置

**表4　八大综合经济区绿色创新生态系统的区域间基尼系数分组**

| 区间范围 | 差距分类 | 涵盖区域 |
|---|---|---|
| 0.3~0.39 | 差距较大 | 北部沿海、东部沿海、南部沿海、大西南—大西北<br>东部沿海—黄河中游 |
| 0.2~0.29 | 差距适中 | 东部沿海、南部沿海、大西北—东北<br>黄河中游、长江中游、大西南—北部沿海<br>长江中游、大西南—东部沿海<br>黄河中游、长江中游、大西南—南部沿海<br>大西南、大西北—黄河中游<br>大西北—长江中游 |
| 0~0.2 | 差距较小 | 北部沿海、黄河中游、长江中游、大西南—东北<br>东部沿海、南部沿海—北部沿海<br>黄河中游、大西南—长江中游<br>东部沿海—南部沿海 |

优越、产业基础雄厚、教育科技发达、国际交往便利,长期处于绿色创新的优势地位,其他综合经济区则整体落后,需在国家政策支持和区域合作深化背景下,逐步缩小内陆与沿海地区的差距。

3. 绿色创新生态系统的区域差异分解情况

表5展示了绿色创新生态系统的区域差异分解情况。首先,2017—2023年八大综合经济区总体差异均值为0.226,呈现波动上升态势,说明区域差距相对合理但有所拉大。其次,区域内差异贡献率在7.43%~10.73%的范围内波动,均值为8.85%,高出区域间差异贡献率均值(1.33%);区域间差异贡献率在1.21%~1.95%波动,整体较为平稳。此外,超变密度贡献率在87.32%~91.08%波动,均值高达89.82%,是总体差异的核心来源。一方面,区域差距的形成具有复杂性,难以仅凭发展水平均值衡量;另一方面,行政区划调整割裂了绿色创新生态系统的自然空间连续性。因此,虽然三大沿海经济区发展水平领先,但并非所有沿海省份均高于内陆省份。由表3可知,贵州、广西等部分内陆省份发展水平远超部分沿海省份。综合来看,总体差异主要源自超变密度,为推动区域均衡协调发展,需精准识别区域间交叉重叠部分,进一步打破行政壁垒和市场分割,促进要素跨区域优化配置。

**表5　八大综合经济区绿色创新生态系统的区域差异分解**

| 年份 | 总体G | 区域内 | | 区域间 | | 超变密度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 贡献度 $G_w$ | 贡献率/% | 贡献度 $G_{nb}$ | 贡献率/% | 贡献度 $G_t$ | 贡献率/% |
| 2017 | 0.205 | 0.022 | 10.73 | 0.004 | 1.95 | 0.179 | 87.32 |
| 2018 | 0.194 | 0.019 | 9.79 | 0.003 | 1.55 | 0.172 | 88.66 |
| 2019 | 0.211 | 0.017 | 8.06 | 0.003 | 1.42 | 0.191 | 90.52 |
| 2020 | 0.232 | 0.02 | 8.62 | 0.003 | 1.29 | 0.209 | 90.09 |
| 2021 | 0.249 | 0.02 | 8.03 | 0.003 | 1.21 | 0.226 | 90.76 |
| 2022 | 0.269 | 0.02 | 7.43 | 0.004 | 1.49 | 0.245 | 91.08 |
| 2023 | 0.219 | 0.019 | 8.68 | 0.004 | 1.83 | 0.196 | 89.49 |
| 均值 | 0.226 | 0.02 | 8.85 | 0.003 | 1.33 | 0.203 | 89.82 |

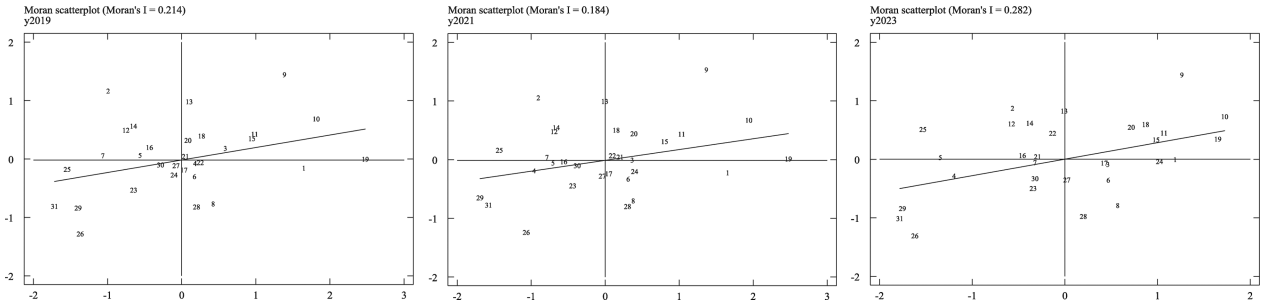
**(三)中国绿色创新生态系统发展的空间相关性分析**

鉴于综合经济区差异的空间特征,本文基于2017—2023年中国31个省份绿色创新生态系统发展水平的综合测度值,测算全局Moran's I,并绘制2019年、2021年和2023年的局部Moran's I

散点图(见表6和图3)。根据表6,2019—2023年全局 Moran's I 均显著为正($p<0.05$),表明此阶段绿色创新生态系统存在空间正相关性,即某一省份发展水平受相邻省份影响,高则相互增益,低则相互掣肘。根据图3,全国约1/4省份位于第一象限(“高—高”促进区),多为东部、南部沿海省份,这些地区通过辐射涓滴效应带动了周边地区发展;约1/4省份位于第三象限(“低—低”落后区),多为大西北、大西南和黄河中游省份,这些地区极易陷入“弱者恒弱”的恶性循环;另有约1/4省份位于第四象限(“低—高”过渡区),约1/4省份位于第二象限(“高—低”辐射区),多为北部沿海、长江中游和东北省份,这些地区处于发展的断层地带,发达省份对欠发达省份的正面带动作用较弱,导致形成发展逆差。总体来看,“同质特征为主导、异质特征为补充”的空间关联形态正逐步显现。

**表6　中国绿色创新生态系统发展的全局 Moran's I**

| 年份 | Moran's I | $E(I)$ | sd($I$) | $z$ | $p$-value * |
|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | -0.121 | -0.033 | 0.108 | -0.818 | 0.207 |
| 2018 | -0.087 | -0.033 | 0.108 | -0.492 | 0.311 |
| 2019 | 0.178 | -0.033 | 0.108 | 1.959 | 0.025 |
| 2020 | 0.207 | -0.033 | 0.108 | 2.226 | 0.013 |
| 2021 | 0.149 | -0.033 | 0.108 | 1.697 | 0.045 |
| 2022 | 0.212 | -0.033 | 0.108 | 2.267 | 0.012 |
| 2023 | 0.236 | -0.033 | 0.109 | 2.463 | 0.007 |

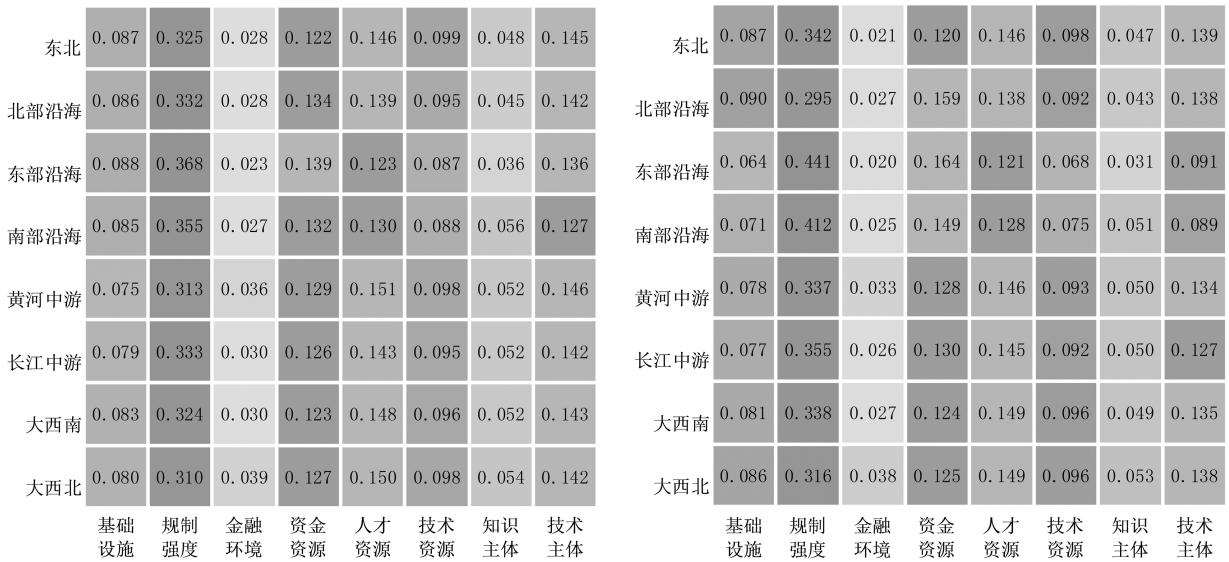



a. 2019 年　　b. 2021 年　　c. 2023 年

图3　2019—2023 年的局部 Moran's I 散点图

**(四)中国绿色创新生态系统发展的障碍因素分析**

本文进一步运用障碍度模型,测度了影响中国八大综合经济区绿色创新生态系统发展的主要障碍因素。图4展示了2017年和2023年八大综合经济区一级指标层面的障碍因素分析结果。2017年,




a. 2017 年　　b. 2023 年

图4　2017 年和 2023 年绿色创新生态系统发展的障碍度

东北、北部沿海、黄河中游、长江中游、大西南和大西北的前三大障碍因素为规制强度、人才资源和技术主体;东部沿海为规制强度、资金资源和技术主体;南部沿海为规制强度、资金资源和人才资源。2023 年,部分综合经济区主要障碍因素产生变化,北部沿海、长江中游的资金资源跻身前三大障碍因素之一,东部沿海的人才资源上升为第三大障碍因素。综合来看,规制强度是阻碍八大综合经济区绿色创新生态系统发展的首要因素,资金资源、人才资源和技术主体不足也构成显著障碍。

## 五、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

本文基于创新生态系统理论和绿色创新理念构建指标体系,从八大综合经济区层面,综合测度了 2017—2023 年绿色创新生态系统发展水平,并分析其区域差异、空间分布特征和主要障碍因素。

第一,从绿色创新生态系统发展水平的测度结果看,多数综合经济区呈现稳步上升趋势,大西北与黄河中游略有下降,八大综合经济区整体发展水平仍不高,且经济区之间发展差异显著。其中,东部沿海表现最优,南部、北部沿海次之,内陆经济区发展水平较低,提升空间较大。分维度看,绿色创新环境发展水平最高,绿色创新资源与绿色创新主体发展水平则相对较低。

第二,从绿色创新生态系统发展水平的区域差异看,八大综合经济区发展不均衡,且各区域内部差异不尽相同。从区域间差异看,沿海与内陆差异明显,邻近经济区之间差异相对较小。从区域内差异看,大西北、大西南和北部沿海的内部不均衡程度最高,且大西北内部差异波动最为剧烈,而东部沿海内部发展最为均衡。进一步分析显示,区域总体差异主要源自区域间经济活动的交叉重叠现象,其次是区域内部差异,区域间差异对总体差异的贡献率则相对较低。

第三,从绿色创新生态系统发展水平的空间分布特征看,考察期内,绿色创新生态系统发展存在显著空间正相关性。高水平省份能够带动邻省共同进步,形成互利共赢局面;低水平省份则拖缓邻省发展步伐,形成相互制约之势。此外,全国部分省份处于发展的断层地带,发达省份与欠发达省份之间要素流动与协同创新不足,缺乏有效传导机制,形成发展逆差。总体上,“同质特征为主导、异质特征为补充”的空间关联形态逐步显现。

第四,从障碍因素诊断结果看,随着时间推移,阻碍八大综合经济区绿色创新生态系统发展的关键因素有所变化,然而,规制强度始终是首要共性障碍因素。同时,资金资源供给不足、人才资源储备匮乏以及技术主体发育不充分等短板,也对八大综合经济区绿色创新生态系统的深化发展构成挑战。

### (二) 政策建议

基于以上结论,本文认为空间发展的非均衡性是制约八大综合经济区绿色创新生态系统进一步提升的根本桎梏。定位主要障碍因素,缩小区域梯度差异,控制区域内部极化现象,进行综合施策,是当前国家绿色创新发展亟待解决的关键问题。

第一,紧扣区域发展定位,以绿色创新理念为指引,搭建中国区域协调发展战略框架,推行差异化绿色创新发展政策。立足国家绿色低碳和创新驱动的战略背景,结合区域绿色创新环境、绿色创新资源禀赋与绿色创新主体状况,探索并构建因地制宜、彰显区域特色的绿色创新体系[40]。沿海综合经济区绿色创新生态系统基础较好,展现出良好发展态势,下一步需补齐短板,培育更多绿色低碳科技型企业、绿色技术研发机构、绿色创新孵化器等创新主体,激发生态系统活力。内陆综合经济区应结合自身资源禀赋、产业基础和生态条件,加大绿色创新基础设施投入,提升技术支撑与服务能力,为绿色创新提供良好政策与制度保障。

第二,优化重大生产力布局,完善区域内部分工与合作,重点破解区域间经济活动交叉重叠引发的重复建设与资源争夺问题。沿海综合经济区应以先进制造业集群为核心,引领产业向绿色化、高端化、智能化升级。北部、南部沿海尤其应加强核心省市的创新辐射力,围绕先进制造业集群搭

建绿色产业基础研究与创新交流平台,通过创新要素流动、产业协同联动、基础设施互联互通等方式打造纵深合作发展带[41]。同时,建立跨区域协调管理机制,统筹区域间发展规划、政策制定和资源分配,加强政策衔接与整合,打破区域性壁垒,形成“逐级传导、协同共进”的区域发展机制,全面提升整体效能[42]。

第三,建立环境规制政策动态评估调整机制,拓宽资金渠道并优化资源配置,加强绿色创新人才培养与合作,促进绿色技术主体规模化涌现。根据八大综合经济区不同发展阶段,以及新兴产业与传统产业的不同产业特性,实施差异化规制措施,避免“一刀切”模式[43]。鼓励金融机构设计区域特色绿色金融产品,如绿色信贷、债券、基金等,为绿色创新企业提供多元融资渠道。科学运用“旋转门”制度,深化产学研合作,激发人才创新活力。跨区域共设绿色创新“飞地园区”,提供创业孵化、技术咨询、市场推广等一站式服务,发挥平台型园区资源聚合与产业倍增效应,助力绿色技术主体成长壮大。

**参考文献:**

[1]国家知识产权局. 绿色低碳专利统计分析报告(2024)[EB/OL].(2024-07-29)[2024-12-20]. https://www.cnipa.gov.cn/art/2024/7/29/art_88_193996.html.

[2]白波. 国际货币基金组织:绿色创新可为中国提供新增长引擎[N]. 北京日报,2024-02-05(4).

[3]李璐,张怀英. 区域绿色创新能力的驱动模式及其内在机制:基于绿色创新生态系统视角[J]. 改革,2024(4):93-107.

[4]董彦岭. 我国区域协调发展十大趋势[J]. 中国发展观察,2024(1):22-27.

[5] FUSSLER C, JAMES P. Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability [M]. London:Pitman, 1996.

[6] ANEX P R. Stimulating innovation in green technology [J]. American behavioral scientist, 2000, 44 (2): 188-212.

[7] LAFFERTY M W. Standards for green innovation [J]. Evaluation, 2006, 12 (4): 454-473.

[8] OECD. Environmental innovation and global markets [R]. Paris:Organization for economic cooperation and development, 2008.

[9]张钢,张小军. 国外绿色创新研究脉络梳理与展望[J]. 外国经济与管理,2011,33(8):25-32.

[10]JAFFE A B, NEWELL, R G, STAVINS R N. A tale of two market failures: technology and environmental policy[J]. Ecological economics,2005,54(2/3):164-174.

[11]YAN Z, YU Y, DU K, et al. How does environmental regulation promote green technology innovation? evidence from China's total emission control policy[J]. Ecological economics, 2024, 219(5):108137.

[12]HORBACH J. Determinants of environmental innovations: new evidence from German panel data sources [J]. Research policy, 2008, 37 (1) :163-173 .

[13]HORBACH J, RAMMER C, RENNINGS K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: the role of regulatory push/pull, technology push and market pull [J]. Ecological economics, 2012, 78(6):112-122.

[14]SAHOO S, KUMAR A, UPADHYAY A. How do green knowledge management and green technology innovation impact corporate environmental performance? understanding the role of green knowledge acquisition [J]. Business strategy and the environment, 2023, 32(1):551-569.

[15]LIU C, GAO X, MA W, 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 (5):112597.

[16] FABRIZI A, GUARINI G, MELICIANI V. Green patents, regulatory policies and research network policies[J]. Research policy, 2018,47(6):1018-1031.

[17]PAN X, HAN C, LU X, et al. Green innovation ability evaluation of manufacturing enterprises based on AHP-OVP model[J]. Annals of operations research, 2020, 290(7): 409-419.

[18] ZENG J, ŠKARE M, LAFONT J. The co-integration identification of green innovation efficiency in Yangtze River Delta region [J]. Journal of business research, 2021, 134 (9):252-262.

[19]EGHBALI M A, RASTI-BARZOKI M, SAFARZADEH S. A hybrid evolutionary game-theoretic and system dynamics approach for analysis of implementation strategies of green technological innovation under government intervention [J]. Technology in society, 2022, 70:102039.

[20]王永贵,李霞. 促进还是抑制:政府研发补助对企业绿色创新绩效的影响[J]. 中国工业经济,2023(2):

131-149.
[21] XIE X, LIU X, CHEN J. A meta-analysis of the relationship between collaborative innovation and innovation performance: the role of formal and informal institutions[J]. Technovation, 2023, 124(6):102740.
[22] ZHANG R J, TAI H W, CAO Z X, et al. Green innovation ecosystem evolution: diffusion of positive green innovation game strategies on complex networks[J]. Journal of innovation & knowledge, 2024, 9(3):100500.
[23] MADSEN H L. Business model innovation and the global ecosystem for sustainable development[J]. Journal of cleaner production, 2020,247(2):119102.
[24]曾经纬,薛璐绮,李柏洲. 绿色创新生态系统生成机制研究[J]. 科技进步与对策,2021,38(13):11-19.
[25]李梦,田增瑞,陆羽中. 绿色创新生态系统共生演化与培育机制[J]. 技术经济,2024,43(4):132-142.
[26] CHIN T, SHI Y, SINGH SK, et al. Leveraging blockchain technology for green innovation in ecosystem-based business models: a dynamic capability of values appropriation [J]. Technological forecasting and social change, 2022, 183 (10):121908.
[27] ZHANG S, XIE Y, YANG P. The impact of CSR disclosure and the roles of actors in the innovation ecosystem on firms' green innovation performance[J]. International journal of technology management, 2024,96(1/2/3):127-158.
[28]郑玉雯,张青芬. 共生视角下国家高新区绿色创新生态系统能级提升路径研究[J]. 科技进步与对策,2024,41 (16):49-60.
[29] FANKHAUSER S, BOWEN A, CALEL R, et al. Who will win the green race? in search of environmental competitiveness and innovation[J]. Global environmental change, 2013, 23(5): 902-913.
[30]夏学超,孙慧,祝树森,等. 多元主体环境规制组合如何实现降碳减污扩绿增长协同推进? [J]. 中国人口·资源与环境,2024,34(8):22-35.
[31]强以晨,徐璋勇. 绿色金融对重污染企业数字化的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2024,34(8):93-102.
[32]邓峰,杨开心,郑园园. 供应链特征对企业绿色创新的影响:基于资源协同与挤占视角的分析[J]. 科研管理,2024,45(10):1-11.
[33]郭亚军. 一种新的动态综合评价方法[J]. 管理科学学报,2002(2):49-54.
[34]李旭辉,张胜宝,程刚,等. 三大支撑带人工智能产业自主创新能力测度分析[J]. 数量经济技术经济研究,2020,37(4):3-25.
[35]丁涛,黄宇菲,冯奎,等. 中国区域低碳经济发展水平测度、区域差距与空间收敛性研究:来自八大综合经济区的证据[J]. 经济问题探索,2023(2):28-44.
[36]郭亚军,姚远,易平涛. 一种动态综合评价方法及应用[J]. 系统工程理论与实践,2007(10):154-158.
[37]张卓群,张涛,冯冬发. 中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(4):67-87.
[38]李贝,田云,郑家喜. 中国种植业碳排放时空特征、空间关联及影响因素[J]. 中国人口·资源与环境,2025,35 (6):112-123.
[39]王向前,赵胜男. 长江经济带碳排放—技术创新—绿色发展时空耦合协调研究[J]. 长江流域资源与环境,2025,34(3):494-506.
[40]王海,郭冠宇,尹俊雅. 在转型中向"绿"而行:产业结构调整与企业绿色创新[J]. 数量经济技术经济研究,2025,42(1):93-115.
[41]叶振宇. 优化重大生产力布局的基本逻辑与实现路径[J]. 人民论坛,2025(10):40-45.
[42]秦文晋,李海蓉,刘秉镰. 中国城市包容性绿色增长水平测度、时空格局及动态演进[J]. 中国软科学,2025 (4):125-137.
[43]唐岑岑,邓建鹏,鲍晓华. 自愿性环境规制下的对外直接投资:基于绿色工厂的证据[J]. 世界经济,2025,48 (4):28-56.

(本文责编:默　黎)