

中国海洋新材料产业技术创新能力的 时空演变及驱动机制

崔旺来¹, 胡子君¹, 钟海玥¹, 杨洋¹, 朱怡晴¹
(浙江海洋大学经济与管理学院, 浙江 舟山 316022)

摘要:基于 2000—2024 年中国 367 个地级市单元专利申请数据和面板数据测度中国海洋新材料产业技术创新能力, 并分析时空演变特征和驱动机制。研究表明: 全国创新能力水平年增长率为 33.4%, 时间上呈“阶梯型”增长, 基尼系数年均值 0.851, 整体发展呈进步态势但内部尺度差异较大; 空间上形成东高西低沿海岸线分布格局, 全局 Moran's I 指数显著为正, 创新能力高水平城市聚集分布在环渤海、长三角和珠三角经济圈, 区域间发展不均衡; 创新能力时空分异驱动机制存在多维交互特征, 经济社会中高新技术企业推动创新产品研发转化, 城市文化中旅游资源丰度促进创新技术价值重构, 生态环境中自然斑块趋势影响创新人才居留意愿, 跨维度交互后产生显著增强的协同效应。

关键词:海洋新材料产业; 创新能力; 时空演变; 驱动机制

中图分类号: P72 文献标识码: A 文章编号: 1005-0566(2025)07-0038-12

Spatiotemporal evolution and driving mechanism of technological innovation capability of China's marine new material industry

CUI Wanglai¹, HU Zijun¹, ZHONG Haiyue¹, YANG Yang¹, ZHU Yiqing¹
(1. School of Economics and Management, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Based on the patent application data and panel data of 367 prefecture-level city units in China from 2000 to 2024, this study measures the technological innovation capacity of China's marine new materials industry, and analyzes the characteristics of its spatio-temporal evolution and the driving mechanism. The research shows that: The annual growth rate of the national innovation capacity level is 33.4%, presenting a "stepped" growth trend over time. The average annual value of the Gini coefficient is 0.851. The overall development shows a progressive trend, but there are significant differences in the internal scale. In terms of space, a distribution pattern with higher innovation capacity in the east and lower in the west along the coastline has been formed. The global Moran's I index is significantly positive. Cities with a high level of innovation capacity are clustered in the Bohai Rim Economic Circle, the Yangtze River Delta Economic Circle, and the Pearl River Delta Economic Circle, indicating unbalanced development among regions. The driving mechanism of the spatio-temporal differentiation of innovation capacity has multi-dimensional interaction characteristics. In the economic and social aspects, high-tech enterprises drive the research, development, and transformation of innovative products. In the urban cultural aspect, the abundance of tourism resources promotes the

收稿日期: 2025-04-27 修回日期: 2025-05-13

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(22&ZD152)。

作者简介: 崔旺来(1964—), 男, 甘肃定西人, 浙江海洋大学经济与管理学院教授, 研究方向为海洋科技战略与规划。通信作者: 钟海玥。

reconstruction of the value of innovative technologies. In the ecological environment aspect, the trend of natural patches affects the willingness of innovative talents to reside. After cross-dimensional interactions, a significantly enhanced synergistic effect is generated.

Key words: marine new material industry, innovation ability, temporal and spatial evolution, driving mechanism

海洋材料是海洋产业的基础和支撑,海洋新材料已成为各国争相抢占的科技制高点。我国作为海洋大国,海洋新材料直接关系到海洋强国建设和国家海洋安全。随着海洋产业在国民经济中的比重日益增长,海洋新材料必将发展成为我国未来的新兴战略型支柱产业。海洋新材料技术创新为国家海洋战略提供物质保障,但由于我国起步晚、海洋创新能力不足、应用技术研究薄弱,海洋新材料体系尚未建立、产业结构不均衡、关键零部件依赖进口等突出问题,加速海洋新材料领域研发迫在眉睫。近年来,国家高度重视海洋新材料发展,2015年国务院出台的《中国制造2025》将海工装备列为十大重点推动的领域之一,《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》提出将聚焦海洋装备等战略性新兴产业,海洋新材料则是海洋装备产业发展的先决要素和重要支撑。《国务院关于支持山东深化新旧动能转换推动绿色低碳高质量发展的意见》强调“加快海洋新材料研发应用”。2024年工业和信息化部、财政部、国家数据局三部门联合印发《新材料大数据中心总体建设方案》,提出围绕船舶与海洋工程装备等重点领域,开展关键材料数字化研发、生产、应用中的典型场景打造,加快前沿材料布局。党的二十届三中全会明确提出完善推动新材料等战略性新兴产业政策和治理体系,为海洋新材料发展指明了方向,预示着海洋新材料将成为推动海洋经济高质量发展的新动能。中金普华产业研究院公布的《2021—2025年中国海洋新材料行业全景调研与投资趋势预测报告》显示,截至2023年年末我国海洋新材料市场规模超过8500亿元,达到8601亿元,近5年整体市场增长率超过10%,未来5年国内对于海洋新材料的需求将以每年17%左右的速度增长。为此,构建具有中国特色的完备的海洋新材料体系,推进海洋新材料产业技术能级提升将为解决海洋领域“卡脖子”问题提供支撑

和保障。

一、文献综述

海洋材料科学是发展海洋科学技术的基础,全球主要国家均将海洋新材料技术视为新一轮海洋科技革命和产业革命的突破口,创新性的海洋新材料科技成果正在不断涌现。国内外学者围绕海洋新材料在创新领域应用^[1-2]、创新政策评估^[3]、创新效率评价^[4]、创新环境规制^[5]等方面展开了研究。海洋新材料产业是包括(海洋用钢、海洋用有色金属、海洋防护材料、海洋混凝土、海洋复合材料与功能材料)在内的新型制造业,同时也是海洋新兴产业、战略产业的重要组成部分^[6],众多学者针对产业创新结构与经济效率^[7-8]、创新网络与绩效格局^[9-10]、创新模式与演化机制^[11]进行了深入探讨。创新生产和科技竞争需要空间载体,过去的研究大多选择国家^[12]、省域^[13]、城市群^[14]作为产业创新和创新能力研究的切入视角。但随着城市单位在国家 and 区域创新体系中作用的日益凸显^[15],以城市为单位分析区域创新能力影响因素逐渐成为创新经济学和创新地理学研究热点。已有研究证明城市经济实力筑基技术创新裂变跃迁^[16]、城市文化禀赋驱动产业技术价值重构^[17]、城市生态环境涵养技术创新人才势能^[18-19]。然而值得注意的是,现有研究对多时段创新空间格局的时序演变特征及其空间分异的多维度驱动机制仍缺乏系统解析。因此,研究海洋新材料技术创新能力空间分布和驱动机制对于完善海洋新材料创新资源配置体系、助力海洋新材料原始创新和突破海洋领域“卡脖子”关键技术难题至关重要。

鉴于海洋新材料产业技术创新能力评估的难度和复杂性,获取能够客观表征其发展水平的统计数据仍面临显著挑战。专利作为技术成果产出的关键代表,已成为学界共识的创新竞争力评估工具,其申请数量是衡量地区创新能力水平的重

要指标^[20]。为此,本文选择海洋用钢、海洋用有色金属、海洋防护材料、海洋混凝土、海洋复合材料与功能材料专利申请数据,对 2000—2024 年中国 367 个城市单元海洋新材料产业技术创新能力进行分析,旨在揭示中国海洋新材料产业技术创新能力的时空格局演变特征,并剖析创新能力空间格局差异的深层驱动机制,以期为海洋新材料产业创新政策的精准施策提供理论支撑与决策参考框架。

二、研究方法数据来源及处理

(一)研究方法

1. 基尼系数

基尼系数在地理研究中通常被用来描述某个测量指标在空间维度的区域分布离散情况。在本文中用于分析 2000—2024 年历年海洋新材料专利申请数据分布情况,具体计算公式参考文献[18]。

2. 空间自相关分析

空间自相关分析是经济地理学中常被用来分析地理空间数据的分析方法,用于检验要素值与空间相邻要素值之间的空间关联性。本文采用全局 Moran's I 指数和 Getis-Ord G_i^* 局部关联指数进行分析^[21],并利用 ArcGIS 10.8 冷热点分析进行可视化表达。

3. 标准差椭圆

依据地理学的首要法则,研究对象在地理空间维度上具有演化趋势,可以借助标准差椭圆(SDE)方法通过描述面积、长轴、短轴、转角 θ 等基本参数反映研究对象空间演变过程并结合可视化表达对演变过程进行进一步阐释。

4. 地理探测器模型

地理探测器(geographical detector)作为一种统计学工具集,专注于分析空间分异特性并揭示其内在驱动机制。结合本文研究方向选择分异及因子探测和交互作用探测两个探测器进行探测。具体探测方法以及参考指数详见文献[18]。

5. DEMATEL-ISM 模型

结构解释模型(DEMATEL-ISM 模型)由美国学者 Warfield 等提出^[22],该模型既能够识别单个因素的影响作用,又能够在复杂的交互耦合机制

中剥离清晰的层级关系。

(二)数据来源与数据处理

1. 数据来源

本文讨论所需专利数据来源于中国国家知识产权局专利检索系统(SIPO)和 Incopat 专利检索系统。近岸海域水质优良率数据来源于国家海洋科学数据中心、生态环境数据来源于国家生态科学数据中心、土地利用类型数据来源于资源环境与科学数据平台。经济社会数据来源于欧维数据、Z data 库、Wind 数据库、马克数据网、《中国城市统计年鉴》《中国海洋经济统计年鉴》、地区统计公报及政务公开网站。企业数据来源于企查查 APP,个别城市缺失值利用线性插值法补齐。

2. 数据处理

受数据获取渠道和能力限制,剔除港澳台以及地区无法识别的数据后搜集 2000—2024 年共计 14 376 件海洋新材料专利数据。基于专利申请分布集聚度、地理区域、经济发展水平^[10-21],将研究区域划分为:北部海洋经济圈,包括天津市、河北省、山东省、辽宁省,延伸至北京市、哈尔滨市、郑州市;东部海洋经济圈,包括上海市、江苏省、浙江省,延伸至合肥市;南部海洋经济圈,包括福建省、广东省、海南省、广西壮族自治区;长江中游城市群,包括江西省、湖北省、湖南省,延伸至重庆市、贵阳市。利用高德地图、Google map,根据专利申请单位注册地址进行卫星定位。NDVI、LPI 由于数据来源类型不同,统一投影到 WGS_1984 坐标系利用 Fragstats 4.2-64 以及 MatlabR 2024 进行计算,并通过 ArcGIS 10.8 要素分割、转换工具将数据链接到研究区。综合考虑专利申请发展周期、专利申请的滞后性,选取 2022 年驱动因子数据对 2024 年专利申请数据进行地理探测。在使用地理探测器进行因子探测之前,借助 SPSS 中 k 均值聚类分析对原始数据进行离散化处理。

三、中国海洋新材料产业技术创新能力时空演变特征

时空演变反映创新能力在时序和空间维度的动态变化过程^[23]。时序维度上包括其发展历程和区域间创新能力差异变化,空间维度上涵盖创新

能力在地理区域上的分布状况以及空间关联和中心迁移。基于此,系统地梳理创新能力发展脉络,明确创新能力的优势区域和薄弱地区,将为海洋新材料创新资源合理配置与区域协调发展提供科学依据。

(一)中国海洋新材料产业技术创新能力时序演变特征

时序演变聚焦创新能力的变化趋势与区域差异动态特征,通过解析海洋新材料专利申请量时间序列数据,识别发展阶段进而表征区域发展不平衡趋势。

1. 中国海洋新材料产业技术创新能力时序发展特征

时间序列实质上是在历史数据的基础上反映发展趋势。通过对比中国与美欧、日韩海洋新材料专利申请量,展现中国创新格局的走向,并基于国内四大区域、专利申请数量和类型划分发展阶段。图1显示,中国海洋新材料专利申请量在2003年实现零的突破,2016年后增速加快,2024年占比达到79.6%,超越美欧、日韩等主要沿海国家。图2显示,中国专利申请总量年均复合增长率达到33.4%。2000—2006年,专利申请数量普遍较少;2007—2012年,专利申请数量出现一定幅度增长,北部海洋经济圈和东部海洋经济圈占比较高,南部海洋经济圈次之,长江中游城市群则居于末位;2013—2018年,专利申请数量激增,各区域专利申请占比大体与前一阶段保持一致;2019—2024年,专利申请数量出现波动。依据专利技术

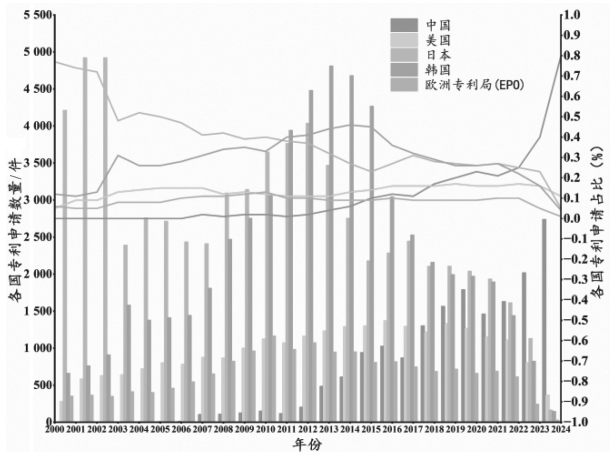


图1 国际专利申请时序

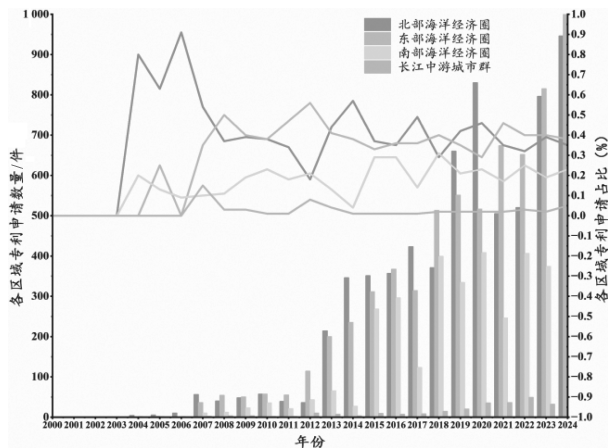


图2 国内专利申请时序

生命周期理论、产业生命周期理论以及中国海洋强国战略实施进程,结合专利申请类型变化(见表1),本文将中国海洋新材料产业技术创新发展划分为以下4个特征阶段。

表1 中国各类型海洋新材料专利申请占比

时期/年	海洋防护材料	海洋用有色金属	海洋复合材料与功能材料	海洋用钢	海洋混凝土
2000—2006	0.17	0.13	0.25	0.37	0.08
2007—2012	0.11	0.10	0.31	0.35	0.13
2013—2018	0.07	0.12	0.38	0.28	0.15
2019—2024	0.19	0.13	0.33	0.22	0.13

(1) 萌芽阶段(2000—2006年),年均专利申请总量不足20件,其中海洋用钢专利申请量最高为9件,海洋混凝土仅为2件,海洋新材料处于产业技术积累的初级阶段。政策引导机制尚未建立,研发主体缺乏有效的财政补贴和税收优惠激励,并且市场需求尚未形成规模,导致技术人才集聚度低于制造业平均水平。

(2) 成长阶段(2007—2012年),海洋用钢占比依旧最高,海洋复合材料与功能材料占比呈现隐隐赶超趋势,在国务院发布的《关于实施科技规划纲要增强自主创新能力的决定》政策驱动下,专利申请总量实现首次跃升达到806件,为海洋新材料产业领域发展铺设道路。

(3) 激增阶段(2013—2018年),海洋复合材料与功能材料占比实现反超,占申请总量的38%,政策红利的滞后效应在此阶段充分释放,专利申请量呈现指数增长达到5235件,关键领域基础设施建设为技术创新提供重要支撑。

(4) 波动阶段(2019—2024年),受美国技术

封锁和全球供应链重组影响,2021—2022 年专利申请总量下降,2023—2024 年恢复正增长,海洋复合材料与功能材料仍然占据主导地位,海洋防护材料增长最快,这种震荡调整映射出产业转型期的典型特征。

2. 中国海洋新材料产业技术创新能力时序分异特征

时序分异即创新能力随时间产生的差异变化,通过基尼系数量化区域间创新能力不均衡程度。鉴于 2000—2006 年专利数据有限,重点研究 2007—2024 年的时序分异情况。

从全国视角切入,中国海洋新材料产业技术创新能力呈现显著空间异质性特征(见图 3),年均基尼系数达 0.851。基尼系数时序演变分析显示,空间差异呈现小幅收敛态势,但演进过程中伴随明显波动特征,表明中国海洋新材料产业技术创新能力总体正经历从极化增长向均衡发展重要转型。北部海洋经济圈年均基尼系数维持在 0.817 高位,期间基尼系数值保持稳定,区域内部存在显著创新等级断层现象。东部海洋经济圈整体创新能力水平差异较小,其基尼系数均值为 0.694,反映该区域已形成以核心城市为增长极、通过创新要素辐射带动周边城市协同发展的良性机制。南部海洋经济圈城市创新能力水平差异较大,年均基尼系数达到 0.874,创新能力水平高地持续虹吸周边创新资源,导致创新要素逆向梯度流动。长江中游城市群年均基尼系数为 0.646,该区域内参与海洋新材料产业技术创新的城市总体数量较少,故而整体空间分异差距较小。

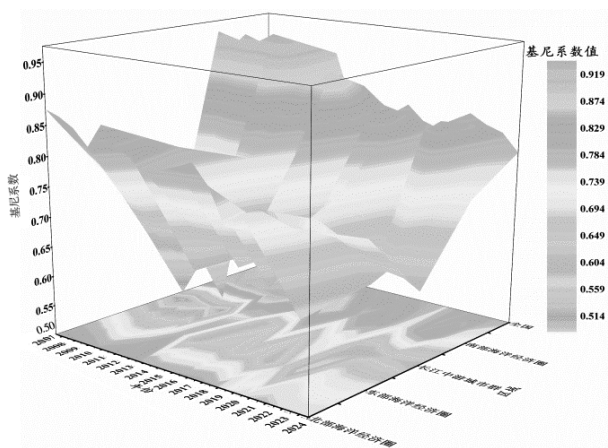


图 3 基尼系数时序分异

(二) 中国海洋新材料产业技术创新能力空间演变特征

空间演变涵盖空间分布格局、区域关联特征与空间中心迁移情况,通过研究海洋新材料产业技术创新能力在地理空间的表现,进而明确创新能力的地域优劣和区域关联机制。

1. 中国海洋新材料产业技术创新能力空间分布特征

空间分布特征指创新能力在各城市和区域的高低分布状况及其在不同时段的格局变化。中国海洋新材料产业技术创新能力空间分布已形成多核发展的区域创新格局。具体表现为以天津、青岛、烟台、南通、上海、广州、深圳七大创新极核为主导,周边城市为节点的梯度化创新网络层级体系。2000—2006 年,全国海洋新材料产业技术创新能力水平普遍较低,参与到海洋新材料产业技术创新的城市数量总体较少。2007—2012 年,相较于上一时期,三大海洋经济圈都出现中低水平城市向高水平城市分布集聚现象,周围城市受技术辐射影响较明显,长江中游城市群有少部分城市开始参与海洋新材料产业技术创新。2013—2018 年,逐渐呈现多核发展态势,中水平城市数量小幅度增加,低水平创新能力城市分布出现大范围扩增,北部海洋经济圈的天津市、青岛市、烟台市为高水平城市,东部海洋经济圈的上海市、南通市为高水平城市,南部海洋经济圈的广州市、深圳市为高水平城市,长江中游城市群暂无高水平城市分布。2019—2024 年,城市创新基础已成型,三大海洋经济圈高水平创新能力城市分布持续固化,中低水平创新能力城市数量小幅增长,长江中游城市群仍无高水平城市分布,低水平城市数量略有增长。

2. 中国海洋新材料产业技术创新能力空间关联特征

空间关联特征是指相邻区域之间的集聚或分散特征,采用空间自相关分析,探究区域间创新能力的相互作用规律。表 2 显示,研究期间 Moran's I 均为正,且分别通过 1%、10%、1%、1% 水平下显著性检验,存在正的相关性。采用局部关联指数

Getis-Ord G_i^* 和自然断点法将中国海洋新材料产业技术创新能力空间自相关布局分为冷点区、次冷点区、过渡区、次热点区、热点区 5 个区域,并用 LISA 图进行可视化表达。冷热点区分布表明,热点区在京津冀地区、山东半岛、长三角地区先后出现,且在长三角地区形成后持续时间最长;次热点区除跟随热点区分布外,在珠三角地区也曾出现,但随着时间推移,珠三角地区产业技术创新能力空间集聚度不断下降;冷点区分布范围不断扩大,次冷点区和过渡区分布范围持续缩小。总体看来,全国视角下海洋新材料产业技术创新能力空间分布集聚特征显著,并且有不断加强的趋势。

表 2 中国海洋新材料产业技术创新能力

Moran's I 指数变化				
时间	2000— 2006 年	2007— 2012 年	2013— 2018 年	2019— 2024 年
Moran's I	0.021	0.019	0.068	0.064
p	0.000	0.078	0.000	0.000
Z 值	4.311	1.767	5.294	5.119
方差	0.000	0.000	0.000	0.000

3. 中国海洋新材料产业技术创新能力空间中心迁移特征

空间中心迁移特征涵盖创新能力空间中心移动轨迹和覆盖范围,采用标准差椭圆和平均中心分析,依据面积、长轴等参数变化明晰迁移轨迹和趋势。表 3 显示,椭圆面积逐渐扩大,从第一阶段 603 908.14 km^2 到第四阶段 1 038 356.82 km^2 ,扩大幅度超过 50%,相应的海洋新材料产业技术创新能力分布空间范围呈扩张趋势。长轴和短轴出现不同变化趋势,长轴先缩短再延长再缩短,最长值达到了 955.68 km,短轴则是不断延伸的状态,从第一阶段的 220.85 km 到第四阶段的 353.22 km,延伸长度超过 50%。方位角自第一阶段到第二阶段发生大幅变化从 178.00°到 8.04°,此后维持小幅度变化。中国海洋新材料产业技术创新能力中心迁移呈现显著的阶段性演化特征。从创新中心迁移轨迹来看,北部海洋经济圈的济南市作为初始创新分布中心,其主导地位在后续演进中逐渐弱化,第二至第四阶段创新中心呈现连续东南向偏移,最终在东部海洋经济圈的淮安市和南京市之间形成空间锁定态势。标准差椭圆分析揭示,第二至第四阶段椭圆

覆盖区存在大面积重叠,表征着产业创新空间分布范围进入相对稳定期,其长轴方位角呈现 4.52°的西南向偏移,显示创新要素沿东南沿海经济带延伸并向西南内陆腹地渗透的强化趋势;短轴持续扩张,形成的空间包络网已覆盖东部海洋经济圈大部分行政单元,并逐渐向长江中游城市群拓展。这种空间运动模式,印证了高能级创新主体区位锁定与中低能级城市梯度扩充并存的演化规律。

表 3 标准差椭圆主要参数

主要参数	2000— 2006 年	2007— 2012 年	2013— 2018 年	2019— 2024 年
面积/ km^2	603 908.14	817 015.34	929 348.67	103 835 6.82
长轴/km	870.67	868.30	955.68	935.87
短轴/km	220.85	299.56	309.60	353.22
方位角/(°)	178.00	8.04	11.03	12.76

四、中国海洋新材料产业技术创新能力空间分异驱动机制

空间分异指海洋新材料产业技术创新能力在地理空间上呈现的不均衡分布现象,驱动机制则聚焦引发这种空间分异的内在因素及其作用路径,剖析驱动机制能揭示空间分异根源,为优化产业布局、制定差异化政策提供依据^[23]。

(一) 驱动因子选取

驱动因子选取是驱动机制分析的基础。基于多维度理论框架筛选相关因素构建解释变量体系,并确保驱动机制分析结果的科学性与可靠性。

在经济社会维度中,经济生产总值和第二产业占比能够很好地诠释一个地区经济发展水平和产业结构^[16],故而选择海洋经济生产总值和海洋第二产业占比作为海洋经济基础的解释变量;城市高新技术企业和研究机构等创新主体构成创新驱动的中坚力量^[15],因而选择涉海机构、涉海院校、涉海高新技术企业以及涉海高校和机构中博士研究生学历人员数量,作为涉海创新要素的解释变量;城市行政级别和行政单位数量直观体现城市行政力量^[16],进而选取城市行政级别(是否为直辖市、计划单列市或省会城市),以及涉海行政单位数量共同组成政府行政力量的解释变量^[24]。

在城市文化维度中,文化设施和旅游资源在宣传城市文化中起到传播载体的关键作用,通过形成独特的城市价值观和创新氛围从而激发创新

主体的创新活力^[25]。因而选取公共图书馆、涉海博物馆和文化场馆作为文化基础设施解释变量;选取海洋文化遗址和海洋类 A 级旅游景区组成旅游资源丰度解释变量。

在生态环境维度中,基于生态经济学、城市规划学与创新地理学的跨学科理论框架,城市复合

生态系统质量对创新要素中创新人才空间集聚具有显著调控作用^[26]。进而选取湖泊、河流、近岸海域水质优良率以及建成区绿化覆盖率作为城市环境治理成效的解释变量;选取 LPI、NDVI 作为城市自然地理风貌的解释变量。制成驱动因子表(见表 4),LPI、NDVI 计算公式及方法参考文献[27]。

表 4 驱动因子

维度层	目标层	准则层	代码	解释变量	分级
经济社会	海洋经济基础	海洋经济规模	XS1	海洋经济生产总值(万元)	5
		海洋产业结构	XS2	海洋经济第二产业占比(%)	5
	涉海创新要素	科研平台规模	XS3	省级以上涉海科研机构数量(个)	5
		高等教育基础	XS4	涉海高校数量(个)	5
		高新企业支撑	XS5	涉海高新技术企业数量(个)	5
		创新人才储备	XS6	涉海高校和机构博士研究生学历研究人员数量(个)	5
	政府行政力量	行政单位数量	XS7	涉海行政单位数量(个)	5
		城市行政级别	XS8	是否为省会城市或计划单列市或直辖市	2
城市文化	文化设施基础	公共图书资源	XC1	公共图书馆数量(座)	5
		文化传播空间	XC2	涉海博物馆与文化场馆数(个)	5
	旅游资源丰度	涉海遗址资源	XC3	海洋文化遗址数量(个)	5
		涉海旅游资源	XC4	涉海 A 级旅游景区数量(处)	5
生态环境	环境治理成效	水域质量状况	XE1	湖泊、河流、近岸海域平均水质优良率(%)	5
		城市绿化面积	XE2	建成区绿化覆盖率(%)	5
	自然地理风貌	自然斑块趋势	XE3	最大斑块指数(LPI)	5
		植被覆盖状况	XE4	归一化植被指数(NDVI)(%)	5

(二)地理探测结果

地理探测旨在运用地理探测器模型,定量分析驱动因子对海洋新材料产业技术创新能力空间分异的影响,其结果可反映因子独立解释力度与交互作用关系,为剖析创新能力空间分异驱动机制提供量化依据^[28]。

1. 单因子探测结果

单因子探测即单独考察各驱动因子对创新能力空间分异的解释力与显著性,分析其在不同区域的影响差异,明晰区域间驱动因子作用差异。

表 5 呈现了各驱动因子对海洋新材料产业技术创新能力空间分异的独立解释效力,其中 q 值直观表征驱动因子的解释力度。全国视角下,经济社会、城市文化以及生态环境维度上驱动因子全部通过显著性水平检验,进一步表明驱动因子选择的科学性。各驱动因子根据 q 值排序依次为 XS1(0.805) > XS5(0.754) > XS4(0.745) > XS2(0.742) > XS3(0.663) > XS6(0.654) > XS7(0.562) > XC4(0.555) > XC2(0.553) > XC1(0.484) > XE3(0.456) > XC3(0.432) > XE2(0.412) > XE4(0.274) > XE1(0.229) >

表 5 地理探测器单因子探测结果

代码	全国	北部海洋经济圈	东部海洋经济圈	南部海洋经济圈	长江中游城市群
	q 值	q 值	q 值	q 值	q 值
XS1	0.805***	0.868***	0.812**	0.847***	0.628*
XS2	0.742***	0.702***	0.764**	0.945***	0.694
XS3	0.663***	0.549**	0.943***	0.909***	0.996***
XS4	0.745***	0.946***	0.712**	0.790***	0.136
XS5	0.754***	0.978***	0.868**	0.924***	0.005
XS6	0.654***	0.531***	0.798**	0.859***	0.137
XS7	0.562***	0.618**	0.837**	0.403	0.627*
XS8	0.120***	0.129	0.160	0.226*	0.136
XC1	0.484***	0.436	0.747*	0.329*	0.426
XC2	0.553***	0.632**	0.767*	0.496	0.838*
XC3	0.432***	0.759***	0.430	0.307	0.291
XC4	0.555***	0.749***	0.510	0.748***	0.856
XE1	0.229*	0.382	0.099	0.698**	0.077
XE2	0.412***	0.447	0.532*	0.552**	0.351
XE3	0.456***	0.892***	0.684**	0.520	0.146
XE4	0.274***	0.528***	0.327	0.407**	0.352

注:***、**、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义。

XS8(0.120),并将 q 值大于 0.7 的因子定义为核心驱动因子,0.5 < q < 0.7 定义为主要驱动因子, q 值小于 0.5 定义为次要驱动因子。总体看来,驱动因子解释力度层级显著,经济社会维度驱动因子具有较强解释力度为核心层,城市文化维度为辅助层,生态环境维度为基础层。涉海创新要素对全国海洋新

材料产业技术创新能力空间分异的解释力度较强。

在北部海洋经济圈,各驱动因子显著性和 q 值相对全国视角存在差异,驱动因子根据 q 值排序依次为XS5(0.978)>XS4(0.946)>XE3(0.892)>XS1(0.868)>XC3(0.759)>XC4(0.749)>XS2(0.702)>XC2(0.632)>XS7(0.618)>XS3(0.549)>XS6(0.531)>XE4(0.528)。按照前文驱动因子等级划分,区域内核心驱动因子包含经济、文化和环境三维度,其中涉海高新技术企业起到重要作用。中船(天津)船舶制造有限公司、青岛海山海洋装备有限公司、中集来福士(烟台)三家企业的专利申请数量占北部海洋经济圈总量30%以上,涉海高新技术企业对于专利的需求拉动城市创新能力提升。

在东部海洋经济圈,驱动因子显著性降低但 q 值提高,驱动因子根据 q 值排序依次为XS3(0.943)>XS5(0.868)>XS7(0.837)>XS1(0.812)>XS6(0.798)>XC2(0.767)>XS2(0.764)>XC1(0.747)>XS4(0.712)>XE3(0.684)>XE2(0.532)。核心驱动因子由经济社会和城市文化维度构成,其中涉海科研机构解释力度较强。国家深海海洋科技研究中心(上海)、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中国科学院海洋研究所海洋科学与技术研发中心(南通)等国家级涉海科研机构,为创新能力发展提供国际领先的研发平台。

在南部海洋经济圈,涉海创新要素驱动因子具有主要解释力度,驱动因子根据 q 值排序依次为XS2(0.945)>XS5(0.924)>XS3(0.909)>XS6(0.859)>XS1(0.847)>XS4(0.790)>XC4(0.748)>XE1(0.698)>XE2(0.552)>XE4(0.407)>XC1(0.329)>XS8(0.226)。核心驱动因子数量少于北部、东部海洋经济圈,海洋第二产业占比解释力度较强,涉海创新要素聚集度与海洋新材料产业技术创新能力高度正相关。广州、深圳、珠海聚集了大量涉海高校、涉海高新技术企业和涉海科研机构,城市空间容量小创新要素体量,产学研融合发展模式推动创新能力提升。

在长江中游城市群,通过显著性水平检验的驱

动因子数量大幅下降。驱动因子根据 q 值排序依次为:XS3(0.996)>XC2(0.838)>XS1(0.628)>XS7(0.627)。核心驱动因子数量进一步减少,除涉海科研机构以外的创新要素均不显著,对于创新能力空间分异的解释变量较为单一。中国舰船研究设计中心(第701研究所)、汉江实验室等国家级实验室凭借对海洋新材料的高度应用需求,针对性带动区域创新发展。

综上,由于区域不同,海洋新材料产业技术创新能力空间分异驱动因子的解释力度存在显著差异,为有效推动海洋新材料产业发展,应因地制宜提出发展对策。

2. 交互探测结果

交互探测旨在探究两个驱动因子联合作用下创新能力空间分异解释力度的变化,揭示因子间复杂交互关系。

根据交互探测结果(见图4),XS1 \cap XS2、XS1 \cap XS3、XS1 \cap XS4、XS1 \cap XS5、XS1 \cap XS7、XS2 \cap XS5、XS2 \cap XC1、XS2 \cap XC3、XS3 \cap XE3、XS5 \cap XS7、XS5 \cap XC2、XS5 \cap XC3、XS5 \cap XC4、XS7 \cap XC4、XS7 \cap XE3、XS7 \cap XE3、XC1 \cap XE3、XC3 \cap XE3、XC4 \cap XE3,交互探测 q 值均大于0.9。其中,XS1、XS5、XE3与其他因子交互较为频繁,XS5与其他因子交互 q 值提升最显著。高新技术企业与行政单位数量、涉海遗址资源、涉海旅游资源的交互解释力度达到了0.95,海洋经济规模与海洋产业结构、科研平台规模交互解释力度达到了0.94,海洋产业结构与高新技术企业、公共图书资源交互解释力度也达到了0.94,自然斑块趋势与科研平台规模、行政单位数量交互解释力度同样达到了0.94。涉海高新技术企业不仅能够通过自身演化对空间分异产生影响,而且在驱动机制内部多因子交互作用中,也是重要交互对象。进一步说明,高新技术企业是发挥关键支撑作用的重要力量。另外,经济社会因子与其他因子交互频繁,跨维度因子交互解释力增强。这表明,中国海洋新材料产业技术创新能力空间分异主要受经济社会驱动作用,但同时是经济社会、城市文化与生态环境因素协同驱动的结果。

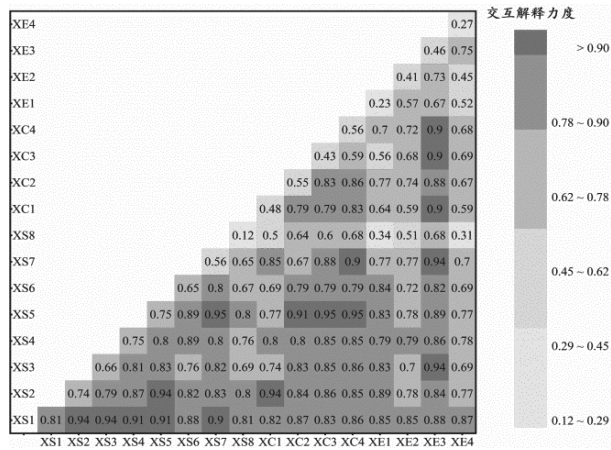


图 4 交互探测结果

3. 地理探测器结果验证

地理探测器结果检验是确保研究结论科学性与可靠性的关键环节,通过严格的检验过程增强研究结论的可信度,避免因模型误差导致理论构建偏差^[28]。

为此,本文采用 STATA 和 MGWR 模型,对全国视角下单因子检测结果中主要驱动因子(q 值大于 0.5)进行可靠性检验。经检验,各因子的 VIF 值均小于 10(均值为 5.42),表明各因子间不存在多重共线性。在 MGWR 模型参数中,残差平方和为 4.545,赤池信息准则 AICc 为 59.656,拟合优度 R^2 为 0.938,调整 R^2 为 0.916,显示拟合程度较好,也反映出地理探测器结果可信。

(三) 驱动机制分析

驱动机制分析旨在深度解构经济、文化、生态等多维度驱动因子如何独立和交互影响创新能力在空间上的分布差异,并诠释其影响路径与内在逻辑,进而构建起多维度、多层次的驱动机制解释框架^[29]。基于 DEMATEL-ISM 模型^[26]对中国海洋新材料产业技术创新能力空间分异驱动机制进行大致梳理(见图 5)。

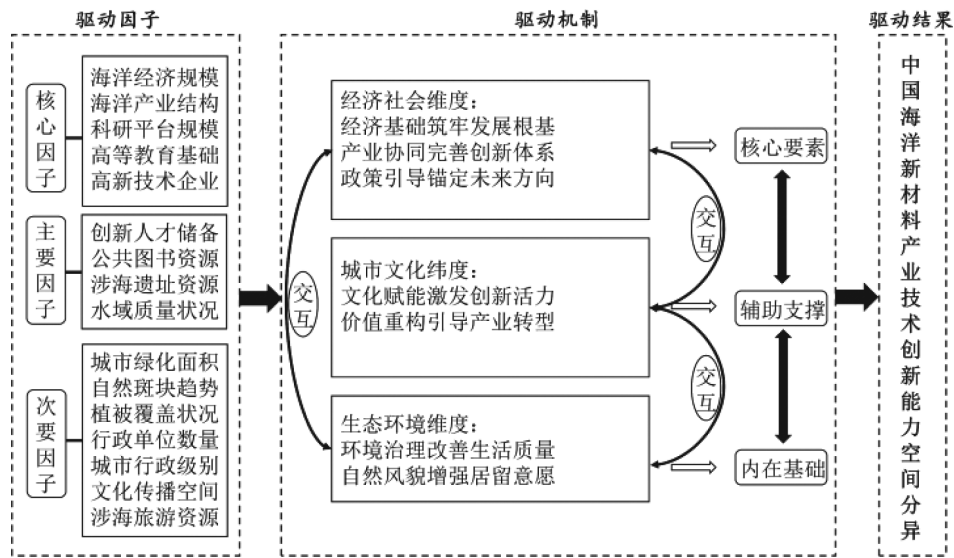


图 5 中国海洋新材料产业技术创新能力空间分异驱动机制

首先,经济社会发展为海洋新材料产业构筑经济基础与市场转化空间。以高占比的海洋第二产业为核心驱动力,通过优化资本运作机制与强化资源整合效能,为海洋新材料产业的原材料供应、生产制造及产品应用等环节提供有力保障。高校依据产业需求培育海洋新材料创新人才,科研机构聚焦关键技术难题开展攻关,企业负责应用场景开发并将科研成果转化为产品推向市场。三方紧密协作,构建起从理论研究、技术创新至产

品应用的完整链条,协同完善产业技术创新体系。同时,城市行政能级与涉海管理机构规模配置,直接映射地方政府在产业发展中的干预力度。行政资源富集地区往往能够凭借税收优惠政策,引导资源向海洋新材料产业汇聚,为产业技术创新提供坚实的制度保障。

其次,城市文化建设在海洋新材料产业发展中发挥双重赋能作用。一方面,通过举办海洋文化科技节、海洋材料创新论坛等各类海洋文化主

题活动,搭建产学研交流平台,吸引各方人员深入探讨海洋新材料,激发科研人员和企业创新活力,促使企业和科研机构针对海洋产业需求研发新型材料,推动产业技术创新。另一方面,城市文化传统和价值观影响产业发展方向与技术选择,秉持绿色生态文化,将引导企业研发更多可降解的海洋环保新材料,形成可持续发展的文化理念,推动海洋新材料产业朝着绿色、环保的方向发展,研发出更具可持续性的技术和产品,从而重构产业技术价值体系。

最后,生态环境质量对海洋新材料产业人才战略具有关键性影响。鉴于海洋新材料产业技术创新高投入、长周期特性,人才队伍稳定性至关重要。水质条件、绿化覆盖率、LPI与NDVI等量化指标,作为衡量城市生态系统完整性与可持续性的核心指标,不仅可以直接决定城市宜居水平,而且可以通过空间吸引力机制重塑人才的空间布局,体现生态环境对人才空间分布的调控作用。优越的生态环境和丰富的海洋资源,将吸引创新人才向海洋新材料高新技术企业、高校和科研机构集聚,形成人才与产业资源的空间匹配。同时,高宜居性环境依托优质生活保障与休闲空间,进一步强化人才集聚效应,构建起人才密度与环境质量的正向反馈循环,当创新人才在宜居环境中实现空间集聚,人才之间的知识溢出效应与协同创新网络得以激活,从而反向推动区域创新能力提升。

此外,驱动因子跨维度交互会显著增强驱动效应,故而中国海洋新材料产业技术创新能力发展是一个系统复杂的工程,应重视不同维度驱动因子之间的协调,从而形成最大化驱动合力。

五、研究结论与启示

(一)主要研究结论

本文通过分析2000—2024年中国海洋新材料产业技术创新能力时空演变历程,深度剖析寓于海洋新材料产业技术创新能力发展背后的时序演进特征、空间演化特征及驱动机制,得出以下结论。

(1)在时序演进方面,中国海洋新材料产业技术创新能力时序格局演变经历了4个阶段:萌芽阶段(2000—2006年),成长阶段(2007—2012年),激增阶段(2013—2018年),波动阶段(2019—2024年)。整体创新能力发展呈波动上升态势,全国视角下内部尺度空间差异显著,区域分异特征明显。

(2)在空间演化方面,中国海洋新材料产业技术创新能力空间演化多样性显著。空间分布范围逐渐扩大,从沿海地区不断延伸到近海地区和内陆江河流域;空间分布关联性较强,高水平创新能力城市集中分布在环渤海经济圈、长三角经济圈、珠三角经济圈;空间分布中心迁移跨度较大,从北部海洋经济圈迁移至东部海洋经济圈,并逐渐趋于稳定;空间分异差异化显著,北部海洋经济圈和东部海洋经济圈极化特征显著,南部海洋经济圈由极化逐渐转向均衡,长江中游城市群持续保持均衡。

(3)在驱动机制方面,中国海洋新材料产业技术创新能力空间分异受三维因子层级驱动和协同驱动。经济社会维度因子为核心要素层、城市文化为辅助支撑层、生态环境为内在基础层。其中,涉海创新要素起主导驱动作用,但同时不能忽视文化基础设施、旅游资源丰度和环境治理成效的辅助驱动作用。

(二)启示与展望

在新时代建设海洋强国的战略背景下,提升海洋新材料产业技术创新能力,是驱动海洋科技与产业革命深度融合、实现海洋经济高质量发展的核心引擎。当前,中国城市在海洋新材料产业技术创新进程中呈现出怎样的发展格局?其时空演变规律具有何种特征?如何构建跨区域协同创新体系?这些问题的系统性解答,不仅能够为突破产业发展瓶颈提供理论支撑,更将为实现海洋新材料产业的可持续创新发展提供实践指引。

在时空演变层面,中国海洋新材料产业技术创新能力呈现“总体向好、区域失衡”的发展态势。全球海洋科技竞争愈演愈烈,只有做好充分准备

才能审时度势,顺势而为。“十四五”规划聚焦海洋装备等战略性新兴产业,促使海洋新材料研发应用进一步加速。“十五五”期间预计在涉海高新技术企业推动下,海洋新材料将在关键技术研发、成果转化等方面取得更大突破。未来 10~20 年,我国海洋新材料产业在全球创新格局中的地位将越发凸显。根据区域要素禀赋,因地制宜发展优势产业也尤为重要。北部海洋经济圈,应强化跨城市协作,以创新高地为核心,促进要素流动,聚焦海洋高端装备制造所需材料;东部海洋经济圈,可以发挥集聚效应打造示范区,融合产学研用,发展海洋复合材料与功能材料;南部海洋经济圈,引导高水平城市以先带后,推动海洋用钢和海洋混凝土等新材料应用转化;长江中游城市群,扩大创新主体规模,加强与沿海合作,发展内河航运及湖泊开发用金属和防护等新材料。

在驱动机制层面,不同维度的驱动因子对中国海洋新材料产业技术创新能力影响各异,应有的放矢地强化或调整。首先,在海洋经济发展维度,海洋经济强市应提高海洋新材料产业在海洋经济中的占比,设立专项扶持资金赋能产学研融合发展模式,加强对海洋新材料产业的规划和引导,而经济与产业基础薄弱地区,先强化海洋经济基础设施建设,暂缓大规模培育涉海高新技术企业。其次,在海洋文化建设维度,文化资源丰富的城市建设海洋文化场馆,举办主题活动,挖掘海洋文化遗产开发特色旅游,针对海洋文化资源匮乏的内陆城市,先发展本土文化,暂缓开发海洋文化项目。最后,在海洋生态保护维度,环境优良的城市进一步加大地区生态治理投入,鼓励建设海洋新材料产业生态园区,以园区带动城市环境改善从而吸引人才落地,对于生态改善困难的地区,先解决产业转型等问题,再提升生态环境质量。总的来说,通过产业结构优化、文旅资源开发与居住环境改善等多元化手段,形成系统完备的协同创新发展体系,推动海洋新材料产业可持续发展。

综上,本文不仅探索了中国海洋新材料产业技术创新能力时空格局演变特征,而且剖析了空间分异的驱动机制,对于提升区域协同发展创新能力优化资源布局具有重要参考价值。但受限于数据获取渠道和能力,本文收集的专利数据、经济数据以及生态数据只能停留在地级市层面,越发精准的数据能够更加准确地测度创新能力的演化趋势以及分布格局,未来仍需进一步挖掘更多的县级微观数据以进行更加深入的探讨,弥补本文研究的不足。

参考文献:

- [1]王春娟,辛庞晨雨,刘大海. 中国海洋工程装备国产化进程及其高质量发展趋势[J]. 中国软科学,2024(增刊1):379-387,413.
- [2]JANANI J B, SYED A, ALLELA B Q O, et al. Biosynthesis of lanthanum oxide-cerium phosphate as luminescent materials using a marine soft coral for cytotoxic, photocatalytic and photometric applications[J]. Journal of luminescence, 2024, 275:120822.
- [3]SINFELD J, AJMANI A, MCSHANE W. Strategic roadmapping to accelerate and risk-mitigate enabling innovations: a generalizable method and a case illustration for marine renewable energy[J]. Technological forecasting & social change, 2024, 209:123761.
- [4] BRESSANE A, LOUREIRO S I A. Political and socioeconomic drivers of urban green space management: Insights from a case study in a Metropolitan Region of an Emerging Economy[J]. Urban forestry & urban greening, 2025, 104:128591.
- [5] WENHAN R, JIANYUE J. How do environmental regulation and technological innovation affect the sustainable development of marine economy: new evidence from China's coastal provinces and cities[J]. Marine policy, 2021, 128:104468.
- [6]薛群基. 创新海洋新材料,为国家海洋战略提供物质保障[J]. 科技导报,2022,40(5):1.
- [7]纪建悦,郭慧文,林姿辰. 海洋科教、风险投资与海洋产业结构升级[J]. 科研管理,2020,41(3):23-30.
- [8]王泽宇,张梦雅,王焱熙,等. 中国海洋三次产业经济效率时空演变及影响因素分析[J]. 经济地理,2020,40(11):121-130.
- [9]王艳梅,孙恩慧,陈雨生,等. 中国海洋战略性新兴产业技术创新协同网络结构与驱动机制[J/OL]. 科研管理,

- 1-13 [2025-04-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.20241202.0901.004.html>.
- [10]王春娟,俞美琪,刘大海. 我国区域海洋创新绩效格局分析及演进方向研究[J]. 中国软科学,2022(增刊1):135-141.
- [11]周锐波,沈乐,黄安晓. 中国市域战略性新兴产业技术创新发展演化机制[J]. 经济地理,2024,44(12):121-131.
- [12]文海漓,夏惟怡,陈修谦. 技术进步偏向视角下中国—东盟区域海洋经济产业结构特征及合作机制研究[J]. 中国软科学,2021(6):153-164.
- [13]吴凡,谢雯,张赤东,等. 省域战略性新兴产业评价方法研究:基于比较优势理论的视角[J/OL]. 科学学研究,1-17[2025-04-23]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20240820.002>.
- [14]李旭辉,何金玉,严晗. 中国三大海洋经济圈海洋经济发展区域差异与分布动态及影响因素[J]. 自然资源学报,2022,37(4):966-984.
- [15]王建华. 中国城市战略性新兴产业技术路径演化机制:路径依赖还是随机偶然?[J]. 科学学研究,2023,41(10):1765-1775,1896.
- [16]魏奇锋,郭安妮,盛毅. 产业集聚视域下多要素驱动区域创新发展的组态效应分析:以成渝地区双城经济圈为例[J]. 软科学,2024,38(8):137-144.
- [17]陈银娥,李鑫,李汶. 中国省域科技创新效率的影响因素及时空异质性分析[J]. 中国软科学,2021(4):137-149.
- [18]刘勤,刘澄浩,王光辉. 中国城市科技人才分布的时空格局及影响因素分析[J/OL]. 世界地理研究,1-16[2025-04-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20250205.1317.002.html>.
- [19]徐洪,黄璐,刘明熹,等. 人才链创新链产业链深度融合:理论逻辑、融合现状与提升路径[J/OL]. 科学学研究,1-12[2025-04-23]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20240820.002>.
- [20]王建华,赵柯,谢清泉. 创新策源与城市战略性新兴产业技术路径发展[J]. 科学学研究,2024,42(11):2454-2464.
- [21]敦帅,陈强. 国家重点实验室的空间分异及其影响机制研究:基于GIS与QCA的分析[J]. 科学学与科学技术管理,2023,44(10):18-34.
- [22]刘宝童,邹华,侯强,等. 创新生态系统数实融合演化影响因素识别:基于DEMATEL-ISM模型[J/OL]. 科技进步与对策,1-13[2025-04-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.g3.20250123.1006.002.html>.
- [23]隋建利,李悦欣,刘金全. 中国经济韧性的时空敛散与异质分化特征:基于马尔科夫区制转移混频动态因子模型的识别[J]. 管理世界,2024,40(3):16-37,73.
- [24]WANG X, CUI W, TIAN P. The theoretical paradigm and practical logic of marine governance modernity[J]. Ocean and coastal management,2025,261:107525.
- [25]毛燕玲,洪佳璇. 人居环境感知与城市创意人才居住选择:异质性与影响路径分析[J]. 软科学,2022,36(11):65-72.
- [26]沈丽,张好圆. 中国绿色金融与经济高质量发展耦合协调的时空格局演化及收敛性研究[J]. 中国管理科学,2025,33(2):50-60.
- [27]谢婷婷. 国家重点生态功能区如何实现环境保护与经济发展的平衡[J]. 世界经济,2024,47(5):34-63.
- [28]胡慧芳,卢南安,赵志远. 战略性新兴产业的空间布局及其驱动因素研究:基于海峡两岸融合发展示范区的实证分析[J]. 科研管理,2025,46(4):84-96.
- [29]亢延锬,郭家宝,胡志安,等. 创新驱动、激励机制与高校科技成果转化:以省部共建国家重点实验室为例[J]. 管理世界,2025,41(3):50-76.

(本文责编:润泽)