

沿黄城市群绿色创新转化效率的 时空格局与驱动因素

陈景华 刘展豪

摘要 提升绿色创新转化效率是黄河流域各地加快发展新质生产力的必然要求。基于沿黄城市群 70 个城市面板数据,运用超效率网络 SBM 模型、空间核密度估计及空间分位数回归模型,可以探究沿黄城市群绿色创新转化效率的时空格局与驱动因素。研究发现:沿黄城市群绿色创新转化效率稳步提升,科技研发阶段效率波动式上升,绿色转化阶段效率较低但增长显著,呈现出以山东半岛城市群、呼包鄂榆城市群为引领,各城市群竞相发展的良好态势。沿黄城市群绿色创新转化效率的稳定性较强,存在明显的空间分异特征与收敛趋势,济南、青岛、西安等城市绿色创新转化高地逐步形成,并具有显著的空间溢出效应。完善基础设施、发展数字技术、优化产业结构、加强环境规制能显著提升绿色创新转化效率,随着分位点的提升,影响效应持续增强,一定程度上导致区域差异的形成;促进金融发展、加强市场自由度、强化政策支持在各分位点处的影响效应不一致。在空间层面,仅有基础设施建设具有正向溢出效应,政策支持、环境规制、市场自由度、产业结构与数字技术呈现“逐底竞争”“以邻为壑”的特征,产生了负向溢出效应,需着力强化驱动因素的空间协同效应。

关键词 沿黄城市群;绿色创新转化效率;时空格局;空间分位数回归

中图分类号 F124 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2025)03-0142-14

基金项目 山东省社会科学规划研究项目(23CJJJ16)

全面推动黄河流域生态保护和高质量发展,必须加快发展方式绿色转型。科技创新通过提供新产品、新工艺、新服务,催生出新产业、新模式、新动能,产生经济效益和生态效益,是发展新质生产力的核心要素,也是深入推动黄河流域各地区发展方式全面绿色转型、建设特色优势现代产业体系的关键因素^[1](P15-24)。自黄河流域生态保护和高质量发展正式上升为国家重大战略以来,沿黄各地以科技创新为支点,在推动生态保护与经济社会高质量发展方面取得了显著成就,但仍存在研发效率不高,研发成果向经济效益与生态效益的转化不力、不顺、不畅等问题,制约了黄河流域各地区创新体系整体效能的提升^[2](P1883-1902)^[3](P947-956)。因此,加快科技创新及其成果绿色转化是黄河流域破解生态保护与高质量发展困境的关键。

同时,沿黄各省区、城市群间的经济联系度不高,在科技创新及成果绿色转化的过程中存在突出的区域不平衡问题,与分工明确、优势互补、错位发展、高效协同的区域发展目标存在差距。城市群通过高密度集聚、高速度成长和高强度运转,已成为承载发展要素的主要空间形式,也是黄河流域地区生态保护和高质量发展的战略核心区。在此背景下,评价沿黄城市群的绿色创新转化效率及其子阶段效率,探究绿色创新转化效率的内在短板及时空格局,识别绿色创新转化效率的驱动因素与时空演变动力,对于新时代黄河流域加快发展新质生产力,构建黄河流域生态保护与高质量发展新格局具有重要的理论与现实意义。

一、文献综述

“绿色创新”的概念最早由Braun等提出^[4](P259-272)。近年来,在可持续发展目标下,绿色创新作为应对全球环境问题的核心支撑,其效率水平测度与分析逐渐成为学术研究的热点问题。

第一,在绿色创新效率评价方面。关于评价指标,现有研究多使用研发人员及研发资本来衡量绿色创新投入;在产出方面,部分学者使用绿色专利授权量来表示绿色创新产出^[5](P104-124),另一部分学者将工业三废排放量作为非期望产出代表环境效益,与专利授权数共同表征绿色创新产出^[6](P122-138)。关于评价方法,多数研究使用考虑非期望产出的SBM模型测算绿色创新效率^[7](P95-104)。但现有研究并未将创新数量、创新质量与经济环境效益纳入统一的分析框架。同时,传统SBM模型将绿色创新活动视为“黑箱”,忽视了绿色创新活动中科技研发与绿色转化的复杂关系以及中间产出的重要作用,未能厘清绿色创新活动的内在结构与机理,使得效率评价存在偏误^[8](P553-562)。

第二,关于绿色创新效率的空间格局。有关绿色创新效率的空间格局研究文献逐步从国家层面深入到区域、省际、城市层面^[9](P10-19)^[10](P78-67)。就黄河流域而言,部分文献使用核密度估计探究沿黄流域绿色创新效率的分布演进趋势,发现绿色创新效率稳步提升,存在明显的空间非均衡性,并呈现两极分化特征^[11](P93-107)。但这一方法无法揭示相邻地区对本城市绿色创新转化效率的影响。

第三,关于绿色创新效率的驱动因素。多数文献从科技创新自身主体、科技创新参与主体、区域内绿色创新环境、外部国际环境等视角探究绿色创新效率的驱动因素^[12](P70-78)^[13](P51-61),并使用传统面板模型或Tobit模型来识别其影响效应^[14](P57-65)。然而,考察驱动因素的影响异质性与空间溢出效应,不仅能更加全面、准确地评估驱动因素的真实影响,也能揭示绿色创新转化效率时空格局的成因及优化路径。分位数回归可以刻画驱动因素在不同效率城市中的作用大小与方向,却无法探究空间溢出效应^[15](P408-417)。传统空间计量模型能分析驱动因素在区域间的溢出效应,但无法捕捉空间上的异质性^[16](P43-53)。因此,空间分位数回归通过剖析驱动因素在不同分位点处的直接影响效应与空间溢出效应,既能为因地制宜提升绿色创新效率提供经验证据,又能揭示空间格局的形成原因与演变动力,为优化黄河流域各地绿色创新资源布局、打造该地区科创大走廊提供事实依据^[17](P81-95)^[18](P14-29)。

已有研究为本文提供了丰富参考,但仍有进一步拓展空间:首先,在效率评价方面,部分学者仅关注绿色创新的科技研发阶段,而忽略了研发成果向现实生产力转化的过程;另一些研究则仅考虑绿色创新的初始投入与最终产出,却将其过程视为“黑箱”,未能揭示知识型产出的中间作用,忽视了绿色创新活动是一个从投入到研发再到绿色转化的链式过程^[19](P6-20, 70, 187)^[20](P70-79)。然而,将科技研发成果向现实生产力转化,产生经济效益与生态效益是绿色创新支撑高质量发展的关键环节。现有研究并未详细剖析绿色创新的内在过程,尤其是对成果绿色转化这一关键环节的关注不足。其次,现有研究缺乏从城市群视角对黄河流域绿色创新转化效率开展多维度、多尺度考察,没有基于空间视角识别内源与外源驱动因素对不同效率城市的异质性影响以及其对时空格局演变的推动作用。因此,本文的边际贡献主要在于:

第一,从科技研发与绿色转化两大阶段对绿色创新转化效率进行内涵界定,在此基础上构建包含创新数量、创新质量、经济生态效益的投入产出指标,并使用超效率网络SBM模型评价沿黄城市群绿色创新转化效率及其子阶段效率,打开绿色创新转化的“黑箱”。

第二,利用空间核密度估计法揭示沿黄城市群绿色创新转化效率的时空格局与演进趋势,为强化沿黄城市群绿色创新转化的协同效应,优化黄河流域创新资源的空间布局提供新思路。

第三,借助空间分位数回归模型探究沿黄城市群绿色创新转化效率的内源及外源驱动因素,识别时空格局的成因与演变动力,因地制宜地为沿黄城市群提升绿色创新转化效率、增强区域间政策的协同性与联动性提供依据。

二、研究设计

准确界定绿色创新转化效率的内涵是本文研究的起点。本部分从科技研发阶段和绿色转化阶段出发,对绿色创新转化效率进行内涵界定,并以此为基础构建评价指标体系。

(一) 内涵界定

本文的绿色创新转化综合考虑了科技研发和绿色转化两个阶段,探究从知识的产生到最终生产力形成这一完整过程。创新活动包含科技研发与成果转化两个阶段,因此,绿色创新转化的概念也可从狭义和广义视角进行理解^[21](P1-7)。从狭义视角来看,绿色创新转化聚焦于研发成果的绿色转化,探究科技研发成果向现实生产力绿色转化的过程。从广义视角来看,绿色创新转化不仅考虑研发成果的绿色转化,也涵盖新知识、新技术的研发,包含从技术研发到新技术产生再到形成生产力的完整过程。本文从广义视角来界定绿色创新转化这一概念,其原因在于:从广义视角出发有助于理解绿色创新转化活动中各阶段的相互反馈与影响,从而能更全面地评估和优化整个创新系统的有效运作。

基于上述内涵界定,本文的绿色创新转化效率是指每单位创新投入所得到的具有经济效益与生态效益产出的能力,涵盖了科技研发与绿色转化两个阶段,如图1所示。

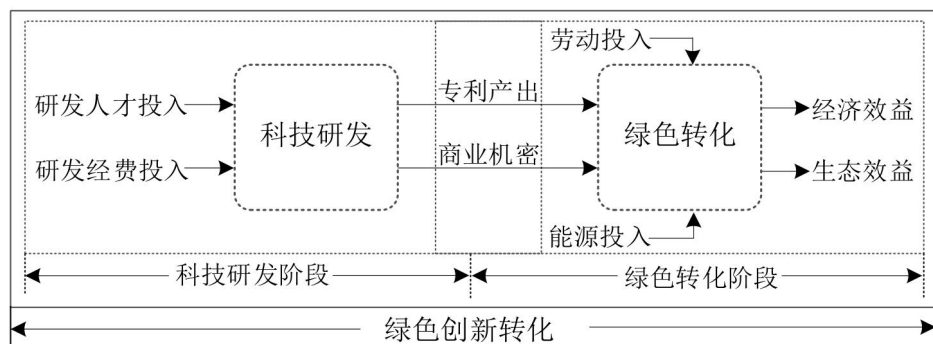


图1 绿色创新转化过程

科技研发阶段是指企业、高校与科研机构等创新主体通过对人才、资金等创新要素进行整合与应用来开展技术创新,从而得到知识性、技术性创新成果的过程。绿色转化阶段聚焦于创新链末端,是指通过二次研发、中试生产、市场匹配等方式对科技研发阶段所得到的成果进行后续实验、开发、应用与推广,从而形成新产品、产生经济与生态效益的过程^[22](P80-90)。如果技术性创新成果不能转化为收益性、价值性产出,则大量的创新投入将成为沉没成本,使创新投入产出比骤降,导致效率评价存在偏误。因此,剖析绿色创新转化活动必须综合考虑科技研发阶段与绿色转化阶段,评价绿色创新转化效率也必须使用收益性与价值性的产出指标^[23](P5-25)。

需要指出的是,本文的绿色创新转化效率对应的是科技研发及其成果绿色转化的效率,而非进行绿色技术研发与转化的效率。原因在于,现代技术发展往往是多学科、多领域交叉合作的成果,许多非绿色专利技术也能通过直接与间接机制产生生态效益^[24](P29-38)^[11](P93-107)。因此,这一视角能够更全面地体现绿色创新转化的系统性特征以及其对经济社会发展的综合贡献。综上所述,本文使用全部专利授权量作为科技研发阶段产出,其中的绿色属性主要体现在技术成果进行绿色转化所产生的生态效益^[13](P51-61)^[25](P85-98)。

(二) 指标体系

基于上述内涵界定,文章从科技研发与绿色转化两个阶段选取投入产出指标来构建绿色创新转化效率的评价体系,具体指标见表1。

第一,初始投入。资本和劳动是创新系统的基本要素,本文选取科学技术支出与教育支出作为创新

表1 沿黄城市群绿色创新转化效率投入—产出指标体系表

阶段	类别	具体指标	变量选取
科技研发阶段	初始投入	创新人才投入	普通高等院校在校生人数
			科研技术服务人员
		创新资本投入	地方财政教育支出
			地方财政科学技术支出
	中间产出	创新产出质量	区域创新创业指数
创新产出数量		专利授权数	
绿色转化阶段	二次投入	能源投入	工业用电量
			全年供水总量
		劳动投入	城市全部就业人数
	最终产出	经济效益	人均 GDP
		生态效益	园林绿地面积
		环境污染	工业三废排放

资本投入,选取科研技术服务人员与普通高等学校在校生人数为创新人才投入。第二,中间产出。专利是创新产出的主要内容,但著作权、商标权等其他知识产权也是创新产出的重要形式,这部分创新产出的价值主要通过企业经营来实现^[26](P5-12)。综上所述,本文采用专利授权数衡量创新产出数量;使用北京大学区域创新创业指数中的创业指数来衡量创新产出质量^①。第三,二次投入。科技研发阶段的创新产出普遍以知识技术成果为主,需进一步投入将创新成果转化,本文使用城市全部就业人数衡量劳动力投入;考虑到黄河流域最大的矛盾是水资源短缺,本文选取工业用电量与全年供水总量作为能源投入。第四,最终产出,选取人均GDP为期望产出,同时考虑到该地区水土流失问题严重,水沙关系不协调,选择园林绿地面积为期望产出,工业废水、二氧化硫及烟(粉)尘排放量指标作为非期望产出。

黄河流域沿线共包括呼包鄂榆、宁夏沿黄、兰西、关中平原、山西中部、中原和山东半岛七大城市群。考虑到数据可得性,本文选取2003-2021年黄河流域七大城市群的70个城市^②为研究对象,其中受物价影响指标均以2003年为基期进行调整。投入产出数据及后文驱动因素数据来源于《中国城市统计年鉴》、EPS数据库、各省市统计年鉴与统计公报,政府与市场关系得分来源于Wind数据库。

(三) 研究方法

1. 超效率网络SBM模型

绿色创新转化活动包含科技研发与绿色转化两大阶段,每个阶段既有独立的投入与产出,又通过中间产品相关联,是一个多要素联动的过程。传统效率评价方法将绿色创新活动视为一个整体,忽略了科技研发与绿色转化的复杂关系以及中间产出的关联性作用,无法打开绿色创新转化活动内在机理的“黑箱”。超效率网络SBM模型则考虑到了绿色创新转化的阶段性特征,将以中间产品形式存在的连接性因素纳入分析框架,从而能更准确地评估绿色创新转化效率,更全面地揭示各个阶段的内在优势与短板。因此,本文借鉴Tone和Tsutsui、Huang等的研究方法^[27](P243-252)^[28](P1-14),构建规模报酬不变(CRS)条件下包含非期望产出的超效率无导向网络SBM模型^③。

① 本文参考创业指数在数据集中的权重,创新产出质量=新增注册企业数量得分*20%+吸引外来投资额得分*15%+吸引风险投资额得分*25%+商标注册量得分*15%。

② 呼包鄂榆城市群:呼和浩特、鄂尔多斯、包头、榆林。宁夏沿黄城市群:中卫、吴忠、石嘴山、银川。兰西城市群:兰州、定西、白银、西宁。关中平原城市群:临汾、咸阳、商洛、天水、宝鸡、平凉、庆阳、渭南、西安、运城、铜川。山西中部城市群:太原、晋中、吕梁、忻州、阳泉。中原城市群:三门峡、亳州、信阳、开封、郑州、洛阳、平顶山、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳、许昌、漯河、南阳、商丘、周口、驻马店、长治、运城、晋城、邢台、邯郸、聊城、菏泽、淮北、宿州、蚌埠、阜阳。山东半岛城市群:济南、青岛、淄博、枣庄、东营、烟台、潍坊、济宁、泰安、威海、日照、临沂、德州、聊城、滨州、菏泽。

③ 受篇幅限制,本文并未列出超效率网络SBM模型的具体计算公式,如有需要可与作者联系索取。

2. 空间核密度估计法

空间核密度估计能够全面展现空间条件下沿黄城市群绿色创新转化效率的分布动态演进趋势。本文使用无条件核密度估计揭示沿黄城市群绿色创新转化效率的分布流动性,并使用空间动态核密度估计考察空间交互影响及溢出效应,具体公式见刘华军等^[29](P57-74)。

三、沿黄城市群绿色创新转化效率的时空格局及演变趋势

客观把握沿黄城市群绿色创新转化效率及其子阶段效率水平,识别不同城市群的优势和短板,掌握其演变趋势,能够为沿黄城市群协同提升绿色创新转化效率提供事实依据。文章基于测算结果对沿黄城市群绿色创新转化效率的时空格局展开分析,并利用核密度估计方法揭示其演变趋势。

(一) 时空格局

1. 绿色创新转化整体效率

沿黄城市群绿色创新转化效率稳步上升,新时代以来增长趋势更为明显,形成了呼包鄂榆、山东半岛城市群引领、各城市群竞相发展的良好态势。由表2可知,沿黄城市群绿色创新转化效率持续提升,考察期内均值由0.224提升至0.396。从时序特征来看,新时代以来沿黄城市群的增长趋势更为显著,年均增长率高达4.22%。这表明,新时代的十年,党中央高度重视黄河流域生态保护与经济社会发展状况,以促进科技与生态保护、经济发展融合为着力点部署工作,创新驱动发展战略取得显著成效。从空间视角来看,呼包鄂榆、山东半岛城市群绿色创新转化效率领先于其他城市群,2021年效率值分别为0.576与0.574,并保持最快增幅,与其余城市群的差距正逐渐扩大;宁夏沿黄、关中平原与中原城市群处于第二梯队,2021年效率值分别为0.367、0.338与0.330,呈持续向好的发展态势;山西中部与兰西城市群效率较低,2021年效率值仅为0.315与0.280,同时,兰西城市群效率提升程度最慢,存在“落后离群”的现象,其在科技研发阶段与绿色转化阶段均有明显不足。

表2 沿黄城市群绿色创新转化效率及其子阶段效率表

沿黄城市群	绿色创新转化效率			科技研发阶段效率			绿色转化阶段效率		
	2003	2012	2021	2003	2012	2021	2003	2012	2021
均值	0.224	0.273	0.396	0.621	0.633	0.814	0.283	0.337	0.436
呼包鄂榆	0.234	0.406	0.576	0.710	0.606	0.646	0.271	0.504	0.707
宁夏沿黄	0.228	0.297	0.367	0.528	0.654	0.912	0.318	0.361	0.383
兰西	0.196	0.219	0.280	0.526	0.596	0.743	0.278	0.277	0.322
关中平原	0.200	0.233	0.338	0.539	0.589	0.834	0.284	0.299	0.360
山西中部	0.201	0.229	0.315	0.592	0.633	0.789	0.257	0.284	0.356
中原	0.216	0.247	0.330	0.599	0.635	0.752	0.277	0.307	0.369
山东半岛	0.260	0.328	0.574	0.751	0.679	0.945	0.293	0.395	0.592

2. 绿色创新转化子阶段效率

第一,科技研发阶段。根据上文的内涵界定与研究方法,本文将绿色创新转化效率分解为科技研发阶段效率与绿色转化阶段效率,测算结果见表2。沿黄城市群科技研发阶段效率整体呈上升态势,党的十八大前波动较为稳定,十八大后增长态势迅猛,由2012年的0.633提升至2021年的0.814。进入新时代,黄河流域将提升创新能力摆在更为重要的位置,不断加强科技研发投入,创新产出实现“量质齐飞”,科技研发阶段效率明显提升。

从各城市群视角出发,不同城市群科技研发效率阶段效率存在明显差异,山东半岛城市群处于领先地位,宁夏沿黄城市群处于“低投入低产出”的高效率状态,呼包鄂榆城市群科技研发阶段存在明显堵点。具体而言,山东半岛城市群科技研发阶段效率明显高于其他城市群,2021年效率值为0.945。山东

半岛城市群凭借其良好的创新基础与齐全的产业门类,正加快打造国家自主创新示范区,逐渐形成济南、青岛、东营等科技研发龙头城市。宁夏沿黄城市群科技研发阶段效率仅次于山东半岛城市群,居于第二位。原因在于,宁夏沿黄城市群在人才与资本投入方面低于平均水平,处于“低投入低产出”的高效率模式,相较于山东半岛城市群的“高投入高产出”,宁夏沿黄城市群应根据自身优势,持续加大创新投入力度。呼包鄂榆城市群在专利产出数量方面存在短板,其科技研发阶段效率存在退步,由2003年的0.710降至2021年的0.646。面向新征程,呼包鄂榆城市群应依托自身要素禀赋与能源产业基础,坚持高端、清洁、环保、安全的发展方向,实施创新驱动发展战略,加快产业转型,不断优化创新资源配置效率。

第二,绿色转化阶段。沿黄城市群绿色转化阶段效率较低但增长态势显著,呈现出“起点低,增速快”的特点。相较于研发能力,创新成果向现实生产力的转化进程相对迟缓,逐渐成为绿色创新的堵点、痛点。近年来,黄河流域针对流域重大战略需求,围绕科技与经济、科技与生态的互动发展机制作出多项战略部署,大力推动产学研深度融合,贯通研发、孵化、转化、投融资等服务的关键链条,创新成果的绿色转化阶段效率不断提高。

从各城市群来看,呼包鄂榆与山东半岛城市群绿色转化阶段效率的水平与提升速度均居于前列,区域差异出现扩大趋势;兰西城市群绿色转化效率最低,存在明显堵点。具体而言,呼包鄂榆城市群的创新经济效益明显优于其他城市群。呼包鄂榆城市群具有丰富的羊绒、稀土和天然气等自然资源,同时与之配套的高端能源化工产业、绿色农畜生产品加工产业也较为发达,使得技术创新成果与自身优势产业紧密结合,产生突出的经济效益。宁夏沿黄、关中平原、山西中部与中原城市群位于第二梯队,同时增长幅度也明显落后于第一梯队城市群,这使得空间分异现象进一步加剧。这一类城市包含了大量的资源型城市,产业结构偏重,资源约束偏紧,处于经济转型升级阶段,存在创新创业服务体系不完善,创新成果与产业对接不畅等问题。兰西城市群创新成果产生的生态效益较低,制约了效率的提升。面向新征程,兰西城市群应以理顺资源开发关系为突破口,以助壮大绿色新兴产业为着力点,以兰州、西宁创新型城市建设为依托,强化绿色创新转化支持力度。

(二) 演变趋势

由上文可知,沿黄城市群绿色创新转化效率存在空间分异特征,山东半岛与呼包鄂榆城市群明显高于其他城市群。为进一步考察沿黄城市群绿色创新转化效率时空格局的演变态势,本文首先采用无条件核密度估计从时间视角探究沿黄城市群绿色创新转化效率的分布演进特征;其次,使用空间动态核密度估计探究城市间的空间交互影响及溢出效应。图2和图3分别为沿黄城市群绿色创新转化效率的无条件核密度等高线图与空间动态核密度等高线图。其中,核密度等高线反映出概率密度值,其向外发散表明概率密度下降,而密集程度的上升则代表收敛趋势的增强。

1. 无条件核密度估计

沿黄城市群绿色创新转化效率的持续性较强,发生大幅跃迁的可能性较低,存在收敛趋势。根据图2,沿黄城市群绿色创新转化效率的无条件核密度等高线集中在正45°对角线附近,表明从t年到t+2年效率水平呈上升趋势,但稳定性较强,发生大幅跃迁的可能性较低。同时,概率主体的密集程度在 $X=0.10$ 与 $X=1.10$ 处明显上升,绿色创新转化效率呈现收敛特征。其中,0.10位置处的等高线密集区高于对角线,表明运城、咸阳、商丘等低效率城市正加快提升绿色创新转化效率;1.10位置的等高线密集区平行于X轴,且略低于正45°对角线,说明济南、青岛、淄博、西安等绿色创新转化高地逐步形成,但可能在未来出现效率下滑状况。

具体而言,呼包鄂榆、宁夏沿黄、兰西与山西中部城市群的核密度等高线沿正45°对角线分布,表明绿色创新转化效率的流动性水平较低,“马太效应”可能进一步扩大。关中平原、山东半岛与中原城市群的核密度等高线主要分布在正45°对角线上方,说明绿色创新转化效率的增长态势显著。除此之外,各城市群绿色创新转化高效率区域的核密度等高线均平行于X轴,且密集程度呈上升趋势,表明存在收敛

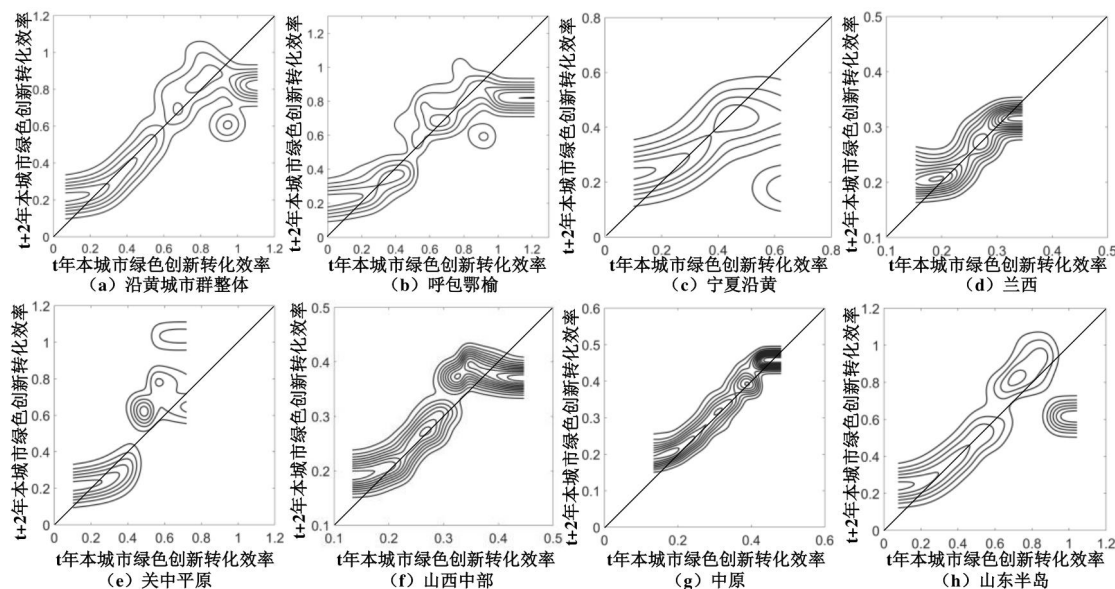


图2 沿黄城市群绿色创新转化效率的无条件核密度等高线

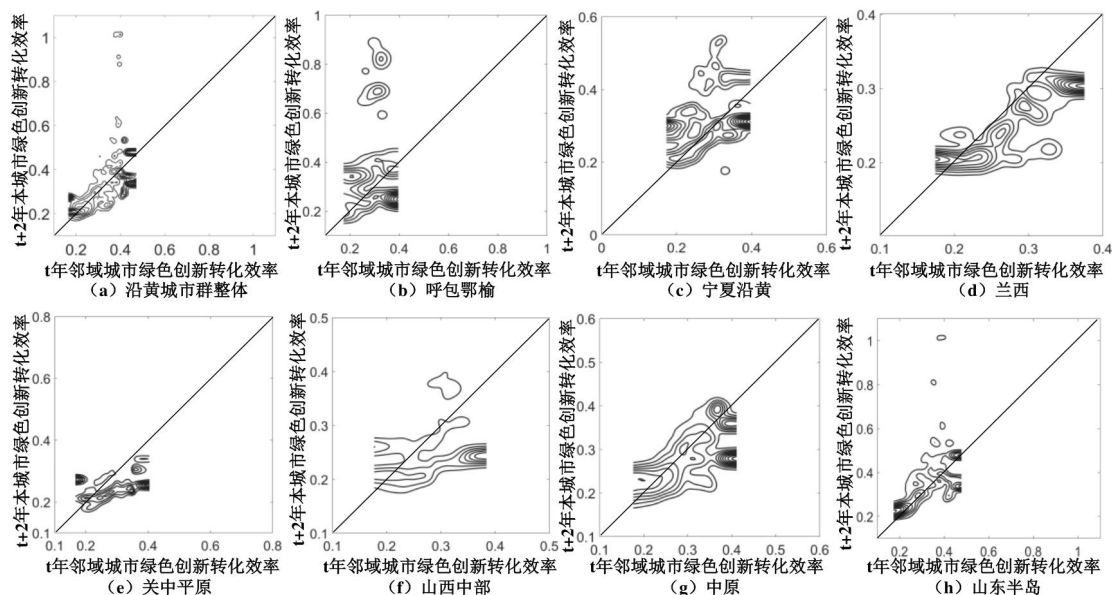


图3 沿黄城市群绿色创新转化效率的空间动态核密度等高线

现象。其中关中平原城市群的高效率城市等高线位于正45°对角线上方,西安市等高效率城市的持续增长动力充足。中原城市群高效率城市的等高线分布于正45°对角线附近,说明高效率城市有较大概率保持既有水平。呼包鄂榆、宁夏沿黄、兰西、山西中部与山东半岛城市群高效率区域等高线位于正45°对角线下方,说明高效率城市存在向下转移现象,绿色创新转化效率向更高水平迈进存在瓶颈。

2. 空间动态核密度估计

沿黄城市群绿色创新转化效率呈空间正相关性,存在明显的空间溢出效应与两极分化现象。根据图3,当相邻城市绿色创新转化效率较低时,核密度等高线平行于X轴,存在低水平集聚现象。当邻域城市的绿色创新转化效率处于中间水平时,核密度等高线沿正45°对角线分布,存在显著的空间溢出效应。这表明,黄河流域区域间的要素流动程度与产业链创新链协同度逐步加深,带动了绿色创新转化效率的

协同提升。同时部分绿色创新转化领先城市,如西安、济南、青岛等,其邻域城市绿色创新转化效率也处于高位,展现出龙头城市的带动效应,呈现高值集聚的空间特征。

具体而言,呼包鄂榆、宁夏沿黄与山东半岛城市群核密度等高线主要分布于正45°对角线上方,表明城市群内具有较强的空间协同效应。这些城市普遍具有更完善的绿色创新生态和成果转化体系,有助于技术的空间流动,从而实现绿色创新转化效率的协同提升。兰西、关中平原、山西中部与中原城市群的核密度等高线主要分布在正45°对角线下方,这些城市空间溢出效应相对较低,效率提升普遍依赖于既有路径。这表明,这些城市群存在要素供需不平衡、产业结构与市场化准入水平不匹配等问题,无法有效承接邻域城市的创新要素转移。面向新征程,应加快探索流域治理、科技研发与产业合作的协同联动机制,为奏响黄河流域绿色创新转化效率协同提升“大合唱”注入新动能。

四、沿黄城市群绿色创新转化效率的驱动因素

提升沿黄城市群绿色创新转化效率、优化其空间格局是加快推进黄河流域生态保护与高质量发展的重要路径。绿色创新转化是多主体、多因素相互作用的复杂系统,一方面,绿色创新转化的参与主体直接决定着效率水平及其空间分布;另一方面,区域创新环境等外部因素也会对效率水平与时空格局带来不同程度的影响。因此,本部分从内源与外源视角选取驱动因素,使用空间杜宾分位数回归模型探究驱动因素对不同效率城市的异质性影响及其空间溢出效应,并在此基础上剖析时空格局的成因与演变动力,为协同提升沿黄城市群绿色创新转化效率、优化创新要素的空间分布提供实证依据。

(一) 变量选取

1. 内源驱动因素选取

绿色创新转化的参与主体主要包括企业、科研机构、政府及金融机构。基于数据可得性,本文选取以下内源性驱动因素:金融发展(Fin):金融机构年末贷款余额/金融机构年末存款余额。由于科技研发与绿色转化具有不确定性与专用性,难以满足金融系统的风险识别要求,因而面临较高的融资约束,金融发展能缓解技术供需双方的信息不对称程度,使金融资源准确流向高质量创新项目,从而提升绿色创新转化效率。政策支持(Gov):财政科学技术支出/一般公共预算支出。政府通过直接资助与税收优惠等政策,减少了绿色创新的经济成本与不确定性,激发了企业的创新意愿。同时,政府通过投资技术转移办公室、搭建创业孵化器等方式,为创新成果绿色转化提供有效引导。环境规制(Env):环境污染治理投资额/GDP。一方面,环境规制要求企业等生产主体朝向更高效、更可持续的生产方向转变,增强企业绿色创新意愿;另一方面,环境规制创造了对环境友善型产品的需求,加大了创新成果绿色转化的预期收益。市场自由度(Free):政府与市场关系得分的对数^[30](P4-16)。加大市场自由度能减少制度性交易成本,使更多资源按市场需求进行配置,另外,自由的市场可能导致创新主体的短视行为,忽略了绿色技术的外部性,造成非理性行为,从而影响绿色创新转化效率。

2. 外源驱动因素选取

区域创新环境是绿色创新转化主体所处空间范围内各种要素形成的关系总和,包含产业结构、基础设施、体制机制与社会环境等多个方面。基于数据可得性,本文选取以下外源驱动因素:基础设施(Infra):年末实有城市道路面积的对数。良好的基础设施能促进城市间的交流与合作,为创新要素流动提供基础条件,但同时将产生技术溢出效应与虹吸效应,对不同发展水平城市产生异质性影响。数字技术(Digi):每万人互联网用户数。数字技术不仅能加速信息的传递与共享,产生技术溢出效应,还能准确分析市场需求与消费者偏好的变化,为成果转化提供路径引领。产业结构(Ins):泰尔指数绝对值的对数^[31](P4-16,31)。产业结构转型升级能促进资源的重新分配,增加市场对绿色技术的需求;同时产业结构调整也能促进产业链创新链融合发展,提升绿色创新转化效率。对外开放(Fdi):外商实际投资总额/GDP。外资进入能直接带来先进的技术与管理经验,从而提升本地绿色创新转化效率。但外资将更多

考虑自身利益最大化,忽视当地生态环境,同时将使本地企业产生技术依赖,难以提升核心创新能力。

(二) 模型设定

空间分位数回归模型是将空间计量模型与分位数回归模型相结合的一种创新方法。相较于传统空间计量模型,它允许城市绿色创新转化效率与驱动因素之间存在非线性关系。该模型通过刻画驱动因素在不同分位点处作用程度的变化,不仅能剖析沿黄城市群绿色创新转化效率时空分异现象的成因,还能因地制宜地为探索绿色创新转化的提升路径提供依据。此外,与传统分位数回归相比,该模型能够捕捉沿黄城市之间绿色创新转化的空间协同效应。通过分析驱动因素对邻域地区的影响,为理解沿黄城市群绿色创新转化效率的时空格局演变提供了更加全面的视角,同时也能为强化黄河流域区域间的协同与互动提供现实证据。经 LM 检验、Hausman 检验与 LR 检验,最终本文选择空间杜宾形式的分位数模型。参考王周伟等、胡可欣等的研究^[17](P81-95)^[18](P14-29),本文的模型设定为:

$$GITE_{it}(\tau) = \alpha(\tau) + \rho(\tau)WGITE_{it} + \beta(\tau)X_{it} + \theta(\tau)WX_{it} + Wres_{it} + v_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 代表城市, t 代表年份, $GITE_{it}$ 为 τ 分位点下绿色创新转化效率, X_{it} 为所有解释变量的集合, W 为地理距离矩阵, $WGITE_{it}$, WX_{it} 分别为被解释和解释变量的空间滞后项, ε_{it} 为随机扰动项。本文参考 Lee 的研究,采用控制函数法来控制空间变量的内生性^[32](P1131-1158)。具体而言,构建以内生变量 $WGITE_{it}$ 为因变量,外生变量 X_{it} 为因变量的模型进行回归,将得到的残差估计值 $Wres_{it}$ 加入空间分位数回归模型中,从而校正内生变量 $WGITE_{it}$ 与外生变量 X_{it} 之间的关联性,得到一致的估计量。

(三) 实证结果分析

本文使用空间杜宾分位数回归模型识别内源及外源驱动因素的影响效应。表 3 汇报了空间杜宾分位数回归系数。其中,表 3 第 1-2 列分别为使用普通分位数回归模型和 Tobit 模型的实证结果,与空间杜宾分位数模型的回归系数基本一致,证明了结论的稳健性。

1. 内源驱动因素分析

金融发展与环境规制对绿色创新转化效率的提升有着持续递增的促进作用,一定程度上导致了空间分异现象。政策支持的估计系数呈先降后升趋势,既促进了低效率城市提升绿色创新转化效率,也是高效率城市收敛的形成原因。市场自由度在中间效率分位点处表现出显著的驱动效应,是关中平原、中原城市群等第二梯队城市群提升绿色创新转化效率、追赶发达地区的重要动力。

(1)金融发展仅在中高效率城市中展现出显著的驱动效应,是两极分化现象的成因之一。金融发展在 70% 与 90% 分位点处的回归系数显著为正,为中高效率城市绿色创新转化提供有力支撑。低效率城市金融市场尚不成熟,存在信息不对称与资源配置扭曲,使金融资源难以流向创新活动;同时,低效率城市创新基础薄弱,金融发展带来的红利缺乏创新平台支撑,难以真正投入绿色创新转化活动中。(2)政策支持的回归系数在各分位点处均显著为正,呈先降后升的“U”型趋势,是助力落后地区实现“弯道超车”、弥合区域差异的关键因素。低效率城市资金、人才、技术等要素不足,产业链不完善,难以依靠市场机制进行科技研发与绿色转化。因此,政府实施财政补贴、专项扶持、技术引进等政策是提升低效率城市创新要素吸引力、推动绿色创新转化的重要动力,也是实现流域协调发展的关键举措。(3)环境规制对绿色创新转化效率的提升有持续递增的促进作用,扩大了区域发展差异。环境规制通过市场信号增强了企业绿色创新意识,可实现经济效益与环境效益的“双赢”。同时,高效率城市具有更良好的创新转化生态,能够更快响应环境规制的市场信号,故促进作用更加显著;而低效率城市创新能力相对不足,相较而言更难适应严格的环境规制,存在合规成本上升等问题。(4)市场自由度在中间分位点处具有显著的促进作用,是中效率城市向高水平跃迁的重要动力。完善的市场机制、公平的竞争环境能让创新主体更准确、及时地按照市场信号进行创新,缓解创新转化过程中技术供需不匹配问题。相较而言,低效率城市绿色创新意识淡薄,绿色创新转化更需要政策扶持,而高效率城市已具备相对成熟的市场环境,提高市

表3 沿黄城市群绿色创新转化效率的空间分位数回归结果

变量	(1) Tobit GITE	(2) 传统分位数 GITE	(3) 10%分位点 GITE	(4) 30%分位点 GITE	(5) 50%分位点 GITE	(6) 70%分位点 GITE	(7) 90%分位点 GITE
<i>Wgite</i>			0.509*** (0.185)	0.800*** (0.150)	0.944*** (0.222)	0.723*** (0.245)	1.221** (0.491)
<i>Fin</i>	0.018*** (0.005)	0.022*** (0.005)	0.002 (0.005)	0.002 (0.006)	0.008 (0.006)	0.035*** (0.013)	0.051** (0.023)
<i>Gov</i>	0.482** (0.229)	0.441** (0.205)	0.958*** (0.201)	0.586*** (0.181)	0.578*** (0.218)	0.490 (0.363)	2.192** (1.109)
<i>Env</i>	0.020*** (0.003)	0.013*** (0.002)	0.011*** (0.002)	0.011*** (0.002)	0.014*** (0.002)	0.013*** (0.003)	0.029*** (0.010)
<i>Free</i>	0.069*** (0.013)	0.058*** (0.012)	0.018 (0.016)	0.045*** (0.015)	0.076*** (0.012)	0.096*** (0.014)	0.058 (0.042)
<i>Infra</i>	0.032*** (0.002)	0.020*** (0.002)	0.009*** (0.002)	0.012*** (0.002)	0.014*** (0.002)	0.020*** (0.003)	0.027*** (0.006)
<i>Ins</i>	0.012*** (0.002)	0.004*** (0.002)	-0.005*** (0.001)	-0.010*** (0.002)	-0.008*** (0.002)	-0.008*** (0.001)	-0.009* (0.005)
<i>Digi</i>	0.080*** (0.012)	0.087*** (0.011)	0.034* (0.020)	0.041 (0.033)	0.118*** (0.037)	0.138*** (0.046)	0.168* (0.089)
<i>Fdi</i>	0.003 (0.009)	0.010 (0.008)	0.008 (0.005)	0.012 (0.012)	0.012 (0.013)	0.029** (0.015)	0.030 (0.030)
<i>WFin</i>			0.003 (0.023)	0.015 (0.037)	0.031 (0.036)	0.018 (0.053)	0.068 (0.114)
<i>WGov</i>			-0.027 (1.026)	-3.025* (1.582)	-2.274 (1.687)	-2.943 (2.866)	-8.090** (3.706)
<i>WEnv</i>			-0.018 (0.013)	-0.019** (0.008)	-0.024** (0.012)	-0.020 (0.015)	-0.067* (0.036)
<i>WFree</i>			-0.043 (0.041)	-0.103* (0.054)	-0.203*** (0.036)	-0.245*** (0.060)	-0.219 (0.149)
<i>WInfra</i>			0.024* (0.013)	0.055*** (0.009)	0.066*** (0.015)	0.092*** (0.016)	0.130*** (0.049)
<i>WIns</i>			0.018** (0.008)	0.007 (0.007)	-0.001 (0.009)	-0.018 (0.014)	-0.045* (0.024)
<i>WDigi</i>			0.086 (0.119)	-0.075 (0.090)	-0.102 (0.080)	-0.101 (0.093)	-0.583*** (0.202)
<i>WFdi</i>			-0.004 (0.007)	-0.002 (0.004)	-0.0003 (0.011)	0.002 (0.009)	0.009 (0.032)
N	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330

注：***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%；()内为标准误；所有回归均控制时间固定效应。

场自由度的边际贡献相对较小。

2. 外源驱动因素分析

完善基础设施、发展数字技术能显著提升沿黄城市群绿色创新转化效率,随着分位点的提高,其影响效益增强,是空间分异现象的重要成因。优化产业结构能提升绿色创新转化效率,但对低效率城市的影响程度最低,是低效率城市路径依赖性较强、发生水平跃迁概率较低的原因之一。同时,外资投入对沿黄城市群绿色创新转化效率的影响并不显著。

(1)完善基础设施对绿色创新转化效率的影响系数显著为正,并在高分位点处的影响效应更加显著,是流域“马太效应”形成的原因之一。良好的基础设施加快了信息的传递与共享,减少了新产品、新技术的流通成本,促进了“知识流”“技术流”的产生,有助于本地降低绿色创新转化成本。高效率的城市拥有相对成熟的产业体系与创新生态,基础设施建设所产生的资源流动效应能够产生更显著的影响。(2)优化产业结构能提升绿色创新转化效率^①,但其对低效率城市的作用程度最小,是其收敛现象的重要成因。优化产业结构能促进新能源、新材料等产业发展,带动产业绿色转型,为技术的研发与绿色转化提供需求牵引。低效率城市优化产业结构多以淘汰落后产业与承接发达地区产业转移为主,前沿与未来产业难以培育,使其影响系数较小,是流域空间分异现象加剧的影响因素之一。(3)数字技术能对绿色创新转化效率产生显著的支撑作用,并且在高分位点处的影响效应更显著。以大数据、物联网等为代表的数字技术能够产生信息流动效应、资源优化效应与技术扩散效应,从而对绿色创新转化提供强劲支撑,且绿色创新转化效率越高,数字技术的促进作用越强。低效率城市由于数字技术应用生态不完善,可能存在“数字鸿沟”,难以充分释放数字技术的潜在价值。(4)外资投入未能展现出显著的驱动效应。一方面,跨境投资必然引入前沿技术、先进的管理经验与创新模式,产生技术溢出效应,从而提升本地绿色创新转化效率;另一方面,外资企业普遍将高技术含量的研发工作保留在母公司,使本地企业产生路径依赖与技术“锁定”效应,加大了自身的创新惰性与对外来技术的依赖程度。因此,外资投入对绿色创新转化效率的影响不显著。

3. 空间溢出效应分析

沿黄城市群绿色创新转化效率的空间自回归系数显著为正,存在空间外溢效应,并且高效率城市更能享受邻域地区的空间溢出红利,创新“孤岛现象”进一步加深。其原因在于,低效率城市往往缺乏足够的创新基础设施、高素质人才资源与相关配套产业,使其难以充分吸收邻域城市的技术创新成果;同时,由于低值集聚现象的存在,低效率城市的邻域往往也是中低水平城市,二者的技术供需存在重叠,难以对邻域产生技术溢出。高效率城市呈现“自我强化”特征,创新人才与知识产出成果普遍在高效率城市之间流动,而对低效率城市的带动效应较弱。因此,强化高效率城市的辐射带动作用,加快中低效率城市嵌入区域绿色创新转化网络是破解创新“孤岛现象”的关键。

在驱动因素的空间滞后项方面,仅有基础设施展现出显著的正向溢出效应,是沿黄城市群绿色创新转化空间关联性形成的重要动力;而政策支持、环境规制、市场自由度、产业结构、数字技术呈现“逐底竞争”“以邻为壑”的特征,在不同分位点处展现出负向溢出效应,这表明,沿黄城市群区域政策存在明显的冲突性,导致了空间分异现象的加剧,需着力强化驱动因素间的空间协同效应,完善跨区域治理机制。

具体而言,邻域政策支持将对中低效率与高效率城市提升绿色创新转化效率产生负向影响。政策支持能吸引高效率城市中的创新型企业与人才进入,造成了高效率城市的创新资源流失,但也为实现流域协同发展提供了机遇。环境规制在30%、50%与90%分位点处显著为负,表明邻域加强环境规制后,绿色创新意愿较低的高污染企业为避免合规成本而迁入本地区,造成本地区更大的环境治理压力。邻域加大市场自由度在30%、50%与70%分位点处对本地产生负向影响,说明市场自由度的提升将吸引邻域地区技术创新资源与成果在本地研发转化,从而产生负向溢出效应。完善基础设施能促进绿色技术的跨区域共享与转化。由于高效率城市对创新要素具有更强吸引力,完善基础设施将加剧高效率城市的“虹吸效应”。产业结构优化的空间溢出效应存在明显异质性,低效率城市的邻域优化产业结构能将成熟产业转移至低效率城市,带动了低效率城市的产业结构升级,从而产生正向影响;而高效率城市的邻域进行产业结构升级必然以培育战略性新兴产业与未来产业为着力点,这将吸引高效率邻域中的创新型企业与高端人才,使创新要素分流,也表明了产业结构升级往往聚焦于本地利益,忽视了跨区域的

① 泰尔指数越大表明产业结构越不合理,因此,回归系数为负表明优化产业结构能提升绿色创新转化效率。

产业链创新链合作发展。除高效率城市外,邻域地区发展数字技术对本地效率并无显著影响。其原因在于数字技术的核心——数据要素归属于本地的企业、平台与政府,跨区域流动将产生界权问题,这使数字技术的跨区域应用面临较大的数据整合成本与流动风险。需要注意的是,邻域数字技术发展将对高效率城市产生负向影响,引发了恶性竞争,削弱其原有的技术优势。

五、结论与建议

文章利用超效率网络SBM模型测算沿黄城市群绿色创新转化效率及其子阶段效率,揭示其时空格局及演进态势,并从空间视角识别绿色创新转化效率水平与时空格局的驱动因素,由此提出因地制宜地提升沿黄城市群绿色创新转化效率的政策建议。

(一) 研究结论

第一,黄河流域各城市群绿色创新转化效率均呈上升态势,其中呼包鄂榆城市群与山东半岛城市群效率处于领先地位,并保持着最快增幅,与其余城市群的差距逐渐扩大。从各子阶段来看,沿黄城市群科技研发阶段效率波动提升,两极分化现象逐渐弥合,其中山东半岛城市群科创高地初步形成,宁夏沿黄城市群处于“低投入低产出”的不发达高效率状态,呼包鄂榆城市群效率处于低位;绿色转化阶段效率较低但增长显著,同时空间分异现象持续加剧,其中呼包鄂榆城市群与山东半岛城市群绿色转化阶段效率居于前列,兰西城市群创新产出带来的生态效益较低,制约了绿色转化阶段效率的提升。

第二,沿黄城市群绿色创新转化效率的稳定性较强,呈现收敛趋势,并展现出空间溢出效应。从演变趋势来看,沿黄城市群绿色创新转化效率持续提升,发生大幅跃迁的可能性较低,“马太效应”可能进一步扩大,其中咸阳、兰州、吴忠等低效率城市正加快补齐短板,济南、青岛、西安等城市绿色创新转化高地逐步形成;另一方面,绿色创新转化效率存在明显的空间溢出效应,与高效率城市为邻能提升本地区绿色创新转化效率,其中呼包鄂榆城市群、宁夏沿黄城市群与山东半岛城市群的内部空间溢出效应强大,兰西城市群、关中平原城市群、山西中部城市群与中原城市群的内部空间协同体系尚不完善。

第三,沿黄城市群绿色创新转化效率的驱动因素区域特色鲜明,需因地制宜地探索提升路径,加强驱动因素的空间协同效应。完善基础设施、发展数字技术、优化产业结构、加强环境规制能显著提升绿色创新转化效率,并且随着分位点的提升,有着持续递增的正向影响,是空间分异现象的重要成因;促进金融发展、加强市场自由度、强化政策支持在各分位点处的影响效应不一致。从空间上看,仅有基础设施展现出正向溢出效应,是空间正相关性的重要驱动力,而政策支持、环境规制、市场自由度、产业结构与数字技术均在不同分位点处展现出负向溢出效应,需强化区域间政策的关联性与协同性。

(二) 政策建议

为强化沿黄城市群绿色创新转化的空间协同效应,因地制宜地提升沿黄城市群绿色创新转化效率,本文提出以下政策建议:

第一,强化基础研究布局,建设绿色创新转化平台,提升沿黄城市群绿色创新转化效率。一方面,聚焦于流域水沙平衡、植被恢复与减污降碳等重点问题,定期向各地区、行业协会、重点企业等创新主体征集共性技术难点与技术需求,开展关键共性技术协同攻关,解决技术产业化过程中堵点卡点;另一方面,健全技术推广应用机制,建立“人工智能”为核心的技术交易市场,探索统一的技术信息标准与技术转移服务规范,重点解决技术供需不匹配、优秀研发成果转化无门等问题。

第二,绿色创新转化高效率城市应着重发展智慧金融新业态,打造具有国际竞争力的数字产业集群,强化对落后地区的辐射带动效应。对于山东半岛、呼包鄂榆城市群等第一梯队城市群与济南、青岛、西安等高效率城市,应充分利用其数字技术优势,构建集技术信息平台、成果转化平台和资金支持服务平台于一体的智慧金融服务中心,同时要促进数字技术同绿色制造、绿色服务等产业深度融合,支撑绿色创新转化高地建设。高效率城市应促进产业合理有序向中低效率城市转移,不仅能释放要素空间,为

引进培育高技术产业提供支撑,也能促进落后地区产业与技术升级,实现流域高效协同发展。

第三,绿色创新转化中低效率城市应进一步加强对绿色创新转化的政策支持力度,营造更加健康的市场环境。对于兰西城市群、山西中部城市群等第三梯队城市群与定西、白银、忻州等低效率城市,应强化政策支持力度,探索多元化财政投入方式,针对高污染企业开展环境规制,引领社会各界加大对绿色创新转化的投入;对于宁夏沿黄城市群、关中平原城市群、中原城市群等绿色创新转化第二梯队城市群与洛阳、南阳、银川等中效率城市,在作好知识产权保护、数据开放等基础性需求保障的同时,持续深化简政放权、放管结合,优化服务改革,全面提升政府对绿色创新转化的管理能力和服务能力。

第四,构建沿黄城市群绿色创新转化联盟,强化流域发展政策的空间协同性。根据研究结论,沿黄城市群绿色创新转化效率的空间协同性有待加强,部分驱动因素存在显著的负向溢出效应。因此,应以促进区域协调发展为目标,建立统一的市场准入规则体系,破除要素壁垒,提高市场自由度,促进创新成果的流动与扩散;同时应加强绿色创新转化激励政策的动态评估与联动试点,建立区域间利益协调机制,平衡各地绿色创新转化的利益诉求,形成全流域协同绿色创新转化的新格局。

参考文献

- [1] 黄群慧,盛方富.新质生产力系统:要素特质、结构承载与功能取向.改革,2024,(2).
- [2] 叶菁菁,周骁遥,陈实.基础研究投入的创新转化——基于国家自然科学基金资助的证据.经济学(季刊),2021,(6).
- [3] 陈凯华,蔺洁,薛超凯等.黄河流域创新发展现状、需求与对策研究.中国科学院院刊,2024,(6).
- [4] E.Braun, D.Wield. Regulation as a Means for the Social Control of Technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1994, 6(3).
- [5] 黄震,黄辉,肖义等.产业结构升级、政府生态环境注意力与绿色创新效率——基于中国115个资源型城市的证据.自然资源学报,2024,(1).
- [6] 游达明,欧阳乐茜.环境规制对工业企业绿色创新效率的影响——基于空间杜宾模型的实证分析.改革,2020,(5).
- [7] 范德成,贾明哲.R&D资源错配对工业绿色技术创新效率的影响研究——基于数字经济的门槛效应.科研管理,2024,(6).
- [8] R.K. Mavi, R.F. Saen, M. Goh. Joint Analysis of Eco-efficiency and Eco-innovation with Common Weights in Two-stage Network DEA: A Big Data Approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 144.
- [9] 曹霞,于娟.绿色低碳视角下中国区域创新效率研究.中国人口·资源与环境,2015,(5).
- [10] 吕岩威,谢雁翔,楼贤骏.中国区域绿色创新效率时空跃迁及收敛趋势研究.数量经济技术经济研究,2020,(5).
- [11] 许玉洁,刘曙光.黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素.自然资源学报,2022,(3).
- [12] 范德成,谷晓梅.高技术产业技术创新效率关键影响因素分析——基于DEA-Malmquist和BMA方法的实证研究.科研管理,2022,(1).
- [13] 贾建锋,刘伟鹏,杜运周等.制度组态视角下绿色技术创新效率提升的多元路径.南开管理评论,2024,(2).
- [14] 卢彦瑾,倪青山,吴敌.中国14大城市群创新效率演进及其影响因素.经济地理,2024,(1).
- [15] A.Cartone, P. Postiglione, G.J.D. Hewings. Does Economic Convergence Hold? A Spatial Quantile Analysis on European Regions. *Economic Modelling*, 2021, 95.
- [16] 陈之常,马亚东.中国城市更新对居民幸福感的影响研究——基于遗传算法投影寻踪和面板空间分位数模型.管理评论,2022,(8).
- [17] 王周伟,赵启程,李方方.地方政府债务风险价值估算及其空间效应分解应用.中国软科学,2019,(12).
- [18] 胡可欣,孙向伟,李洋航.中国区域经济趋同的空间异质性研究——来自空间杜宾分位数面板回归的证据.经济理论与经济管理,2023,(1).
- [19] 余泳泽,刘大勇.我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究.管理世界,2013,(7).
- [20] 林青宁,毛世平.自主创新与企业科技成果转化:补助抑或政策.科学学研究,2023,(1).
- [21] 贺德方.对科技成果及科技成果转化若干基本概念的辨析与思考.中国软科学,2011,(11).
- [22] 吴鹏,万广华,常远.科技成果转化与共同富裕:来自中国的验证.科研管理,2023,(10).

- [23] 王维国,王鑫鹏. 创新转化效率、要素禀赋与中国经济增长. 数量经济技术经济研究, 2022, (12).
- [24] 庄芹芹,吴滨,洪群联. 市场导向的绿色技术创新体系:理论内涵、实践探索与推进策略. 经济学家, 2020, (11).
- [25] 涂永红,任屹颖,郭彪. 长江经济带城市绿色创新发展. 经济理论与经济管理, 2023, (10).
- [26] 洪银兴. 科技创新阶段及其创新价值链分析. 经济学家, 2017, (4).
- [27] K. Tone, M. Tsutsui. Network DEA: A Slacks-based Measure Approach. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197(1).
- [28] J. Huang, J. Chen, Z. Yin. A Network DEA Model with Super Efficiency and Undesirable Outputs: An Application to Bank Efficiency in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 2014(1).
- [29] 刘华军,郭立祥,乔列成等. 中国物流业效率的时空格局及动态演进. 数量经济技术经济研究, 2021, (5).
- [30] 樊纲,王小鲁,马光荣. 中国市场化进程对经济增长的贡献. 经济研究, 2011, (9).
- [31] 干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响. 经济研究, 2011, (5).
- [32] S. Lee. Endogeneity in Quantile Regression Models: A Control Function Approach. *Journal of Econometrics*, 2007, 141(2).

The Spatial Patterns and Drivers of Green Innovation Transformation Efficiency in Urban Agglomerations along the Yellow River Basin

Chen Jinghua (Shandong University of Finance and Economics)

Liu Zhanhao (Hunan University)

Abstract Enhancing the green innovation transformation efficiency is vital for accelerating new quality productive forces in the Yellow River Basin. Using panel data from 70 cities within the urban agglomerations along the Yellow River, this study examines the spatiotemporal evolution and drivers of green innovation transformation efficiency via a super-efficiency network SBM model, spatial kernel density estimation, and spatial quantile regression model. The results reveal a steady improvement across the region—with fluctuating gains in R&D efficiency and modest yet significant progress in the transformation stage. Notably, the Shandong Peninsula and Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomerations lead this advancement, while all urban agglomerations trend toward better development. Moreover, green innovation transformation efficiency exhibits robust stability, significant spatial heterogeneity and convergence, with core cities such as Jinan, Qingdao, and Xi'an emerging as innovation hubs with pronounced spatial spillover effects. Infrastructure, digitalization, industrial upgrading, and stringent environmental regulations significantly boost efficiency—effects that intensify at higher quantiles and partly explain regional disparities. In contrast, financial development, market liberalization, and policy interventions have uneven impacts. Spatial analysis further identifies that policy interventions, environmental regulation, market freedom, industrial structure, and digitalization produce negative spillovers, leading to "race-to-the-bottom" and "beggar-thy-neighbor" competitions; only infrastructure offers positive spatial externalities, underscoring the need for coordinated spatial governance of innovation drivers.

Key words urban agglomerations along the Yellow River Basin; green innovation transformation efficiency; spatial patterns; spatial quantile regression model

■ 作者简介 陈景华, 山东财经大学经济学院教授, 山东 济南 250014;

刘展豪(通讯作者), 湖南大学经济与贸易学院博士研究生, 湖南 长沙 410079。

■ 责任编辑 涂文迁