

# “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新时空演化及空间效应

左 弈 周衍平

**内容提要:**本文在测算2006—2019年“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的基础上分析其时空演化特征,进一步结合空间杜宾模型估计其空间效应。分析结果显示:“一带”地区专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率仍有一定提升空间,“一路”地区两阶段效率均达到有效状态;研究期内绿色技术研发和绿色成果转化效率呈上升态势并伴随极化现象;两阶段效率均存在正空间自相关性且研发效率相关性强于转化效率,其中,研发效率“低低(LL)”集聚主要位于“一带”地区且时空格局较稳定,转化效率呈现出“高高(HH)”集聚向“一路”地区演进并趋于稳定的趋势。综合两阶段看,对外直接投资(OFDI)、外商直接投资(FDI)、政府支持、基础设施建设、贸易开放和知识产权保护促进本地专利密集型产业绿色创新;OFDI和FDI对邻近地区专利密集型产业两阶段绿色创新效率、贸易开放对邻近地区专利密集型产业绿色成果转化效率存在正向空间溢出效应,发挥辐射带动作用,政府支持、知识产权保护对邻近地区专利密集型产业两阶段绿色创新效率均产生负向空间溢出,呈现空间竞争特征。研究结论可以为实现“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新协同发展提供启示。

**关键词:**“一带一路” 专利密集型产业 两阶段绿色创新 绿色创新效率 时空演化 空间效应

**中图分类号:**F204 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7636(2023)01-0073-20

## 一、问题提出与文献回顾

发展专利密集型产业是提升和巩固国家核心竞争力、促进产业结构转型升级的关键,同时也与中国经济高质量发展时代需求深度契合。近年来,中国积极促进高价值专利培育,鼓励专利向产品端和产业端转化,专利密集型产业培育工作取得了傲人成绩,2018年、2019年和2020年产业增加值分别达到107 090亿元、114 631亿元和121 289亿元,占国内生产总值比重分别为11.6%、11.6%和11.97%。为建设中国特色、世界水平的知识产权强国,《知识产权强国建设纲要(2021—2035年)》提出了“到2025

收稿日期:2022-05-14;修回日期:2022-12-08

基金项目:山东省自然科学基金面上项目“高质量发展视域下知识产权密集型产业演化机理、效应测度与政策设计”(ZR2021MG018)

作者简介:左 弈 山东科技大学经济管理学院博士研究生,青岛,266590;

周衍平 山东科技大学经济管理学院教授、博士生导师。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

年专利密集型产业增加值占 GDP 比重达到 13%”的战略目标,可见中国专利密集型产业还有很大的发展潜力和空间。

“一带一路”倡议自提出以来,已经成为广受欢迎的国际公共产品和规模最大的国际合作平台,也为中国开创全方位对外开放新格局提供了重大战略机遇。近年来,中国逐渐加强在“一带一路”沿线国家的专利布局,覆盖行业包括通用设备制造业、化学原料和化学制品制造业、电气机械和器材制造业以及计算机、通信和其他电子设备制造业等,这些行业主要隶属于专利密集型产业,为中国专利密集型产业“走出去”及深度对接“一带一路”沿线国家专利密集型产品需求奠定了基础。随着“一带一路”合作深入推进,习近平总书记多次强调要把“一带一路”建设成为绿色之路。2022年3月,国家发展和改革委员会等部门印发了《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》,提出要让绿色切实成为共建“一带一路”的底色,共享绿色发展成果,大力发展高质量、高技术、高附加值的绿色产品贸易。专利密集型产品源于核心专利技术,具备高质量、高技术和高附加值等特征,因此,积极推动中国专利密集型产业绿色创新,鼓励绿色专利技术研发和转化落地以为市场提供更多、更好的绿色专利密集型产品,是融入和服务共建“一带一路”绿色发展的现实需求和关键着力点。作为对接“一带一路”国际合作的战略支点和桥头堡,新疆、广西、重庆、上海等 18 个“一带一路”愿景与行动文件圈定的省份应率先响应国家号召,全力推进专利密集型产业绿色创新。在此背景下,探讨如何提升“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新水平,既是当前理论研究的关键议题,又是助力“一带一路”绿色发展的重要突破口。

美国和欧盟较早对专利密集型产业展开专门调研。2012年《知识产权与美国经济:聚焦产业》报告<sup>[1]</sup>将产业专利密度定义为产业发明专利授权量与就业人数之比,并将产业专利密度值高于平均水平的产业认定为专利密集型产业,此后均沿用该方法<sup>[2-3]</sup>。欧盟关于专利密集型产业的定义方法与美国类似,但同时考察产业专利绝对强度和相对强度<sup>[4]</sup>。国内学者徐明和姜南(2013)<sup>[5]</sup>、姜南等(2014)<sup>[6]</sup>和李黎明(2016)<sup>[7]</sup>则进一步结合中国具体情境对专利密集型产业进行了识别。范(Pham,2015)的研究显示知识产权密集型产业在经济价值创造和创新绩效方面明显优于其他传统产业<sup>[8]</sup>。崔等人(Choi et al.,2016)比较了韩国知识产权密集型产业和非知识产权密集型产业的全要素生产率,发现前者明显更高<sup>[9]</sup>。王黎莹等(2017)对浙江省专利密集型产业创新效率测算发现,虽然专利密集型产业创新效率明显优于非专利密集型产业,但并非在各个环节均数据包络分析(DEA)有效,而是在物化产出和价值产出阶段存在一定的投入冗余<sup>[10]</sup>。为厘清专利密集型产业创新影响因素,杨武等(2019)检验了研发投入对专利密集型产业创新绩效的非线性影响,发现资本和人员投入分别存在单一和双重门槛效应<sup>[11]</sup>;李柏洲和王丹(2020)进一步研究发现,政府支持、研发投入强度、竞争程度、研发外部经费均对专利密集型产业创新效率的提升有着积极影响<sup>[12]</sup>。随着制造业绿色转型的加快推进,以工业制造业为主体的专利密集型产业的绿色创新问题逐渐引起重视。朱承亮等(2018)分别从静态和动态视角探究了中国专利密集型产业的绿色创新绩效问题,发现专利密集型产业在绿色创新效率方面优于非专利密集型产业,但在绿色创新生产率增长及驱动机制方面要逊色于非专利密集型产业,并据此提出了单边突破式、循序渐进式和刺激跳跃式三条提升路径<sup>[13]</sup>。侯建和陈恒(2018)研究发现,样本期内中国高专利密集度制造业绿色创新转型绩效整体未达到有效水平,且行业分异十分明显,企业规模要素、资本深化、市场竞争和外资引进对绩效提升发挥积极影响<sup>[14]</sup>。袁茜等(2020)在考察专利密集型产业绿色全要素生产率内部差距时发现,强专利密集型行业趋向共同稳态和自身稳态收敛,弱专利密集型

行业则仅趋向自身稳态收敛,行业集中度和规模、研发投入对不同强度专利密集型行业绿色全要素生产率会产生异质性影响<sup>[15]</sup>。

上述研究对本文有重要启示,但也存在以下研究缺口:第一,已有针对专利密集型产业绿色创新的研究均基于行业中观尺度展开,而缺乏区域宏观视角的分析,忽略了经济发展水平和资源禀赋差异可能对区域专利密集型产业绿色创新能力造成的影响,这会导致研究结果示范性与指导性的不足,而当前共建“一带一路”绿色发展背景下,作为倡议实施支点和门户的“一带一路”沿线省份的专利密集型产业绿色创新问题亟待深入考察。第二,已有研究在测算专利密集型产业绿色创新效率时并未考虑到创新系统内部的阶段性和连续性特征,事实上,将创新过程视作“黑箱”会掩盖创新系统内部的价值链传递机制<sup>[16-17]</sup>,而专利密集型产业绿色创新是产业内绿色价值创造、传递和实现的渐进过程,对这一过程的解析缺失不利于深入剖析不同要素投入和创新目标下专利密集型产业绿色创新效率的异质性特征和优化路径。第三,随着空间经济学的发展,学者发现区域间绿色创新效率呈现显著的空间相关性<sup>[18-19]</sup>,而已有研究通常是在空间均质和空间独立假设上对专利密集型产业绿色创新展开分析,虽在一定程度上总结了专利密集型产业绿色创新的提升机制与路径、行业异质性以及驱动因素等的相关经验,但忽视了空间异质条件下专利密集型产业绿色创新效率的空间联动,可能导致对专利密集型产业绿色创新效率时空演化规律及空间效应认识不足的问题。

那么,创新价值链视角下“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率如何?具有何种时空格局演化特征?其空间效应是怎样表现的?为回答上述问题,本文选取 2005—2019 年相关样本数据,对“一带一路”沿线省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率时空格局演化以及效率影响因素的空间效应进行了探讨,边际贡献如下:第一,立足于国家推动共建“一带一路”绿色发展的倡议,以“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新为对象展开研究,丰富了专利密集型产业的研究情景,同时为绿色“一带一路”建设提供了新的视角。第二,将专利密集型产业绿色创新解析为绿色技术研发和绿色成果转化两个子阶段,并结合基于松弛变量的超效率模型(Super-SBM)分别对“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率进行测度分析,为制定差异化、针对性的产业绿色创新政策提供了理论指引。第三,将关于专利密集型产业绿色创新的研究拓展到了空间维度,发现了“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的空间正相关性,进一步,基于双固定效应空间杜宾模型(SDM)的检验揭示了对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设、贸易开放以及知识产权保护等影响因素对“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的本地效应和空间溢出效应,相关结论为统筹协调推动“一带一路”沿线区域专利密集型产业绿色创新提供了有益的实证依据。

## 二、研究设计

### (一) 研究方法

#### 1. 基于非期望产出的 Super-SBM

本文基于托恩(Tone, 2002)<sup>[20]</sup>和李等人(Li et al., 2013)<sup>[21]</sup>的研究对“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率进行测算。假设  $n$  个省份构成  $n$  个决策单元(DMU)以构造生产前沿,每个 DMU 由  $m$  个投入  $x \in R^m$ 、 $s_1$  个期望产出  $y^g \in R^{s_1}$  和  $s_2$  个非期望产出  $y^b \in R^{s_2}$  组成。定义  $X$ 、 $Y^g$  和  $Y^b$  分别为投入、期望产出及

非期望产出矩阵,表达式如下:

$$\delta^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{i0}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j$$

$$\bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g$$

$$\bar{y}^b \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b$$

$$\bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b$$

$$\sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0$$

式(1)中, $\lambda$ 为权重向量,目标函数值 $\delta^*$ 为DMU( $x_0, y_0^g, y_0^b$ )效率值,即本文“一带一路”沿线省份专利密集型产业的绿色创新效率。

### 2. 核密度估计

核密度估计<sup>[22]</sup>是一种用于估计概率密度函数的非参数方法,其优点在于无须进行任何参数模型假设,能用连续的密度曲线描述随机变量的动态分布和演进特征。函数表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \quad (2)$$

式(2)中, $n$ 为样本量, $x_i$ 为样本观测值, $x$ 为均值, $h$ 为带宽, $K(\cdot)$ 为核函数。本文采用高斯核函数绘制核密度曲线,通过曲线特征揭示“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的时序演进特征。

### 3. 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析作为代表性空间关联分析模型,可用来分析研究单元空间集聚模式,计算指标主要有全局莫兰指数(Global Moran's I)和局部莫兰指数(Local Moran's I)。全局莫兰指数可用来检验某一属性在全域空间分布上的空间集聚效应,局部莫兰指数则反映该属性在特定局部区域内的集聚情况。全局和局部莫兰指数分别表示为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (4)$$

式(3)和式(4)中, $I$ 和 $I_i$ 分别表示全局和局部莫兰指数值, $S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$ 为样本方差, $w_{ij}$ 构成空间权重矩阵,本文采用地理邻接空间权重矩阵。 $n$ 为省份数量, $x_i$ 和 $x_j$ 分别为省份 $i$ 和省份 $j$ 的专利密集型产业绿色创新效率值, $\bar{x}$ 为效率值均值。莫兰指数取值区间为 $[-1, 1]$ ,大于0表示省份间专利密集型产业绿色创新效率呈正自相关,小于0则表示存在负自相关。依据局部莫兰指数绘制离散聚类图可进一步将空间关联模式划分为“高高(HH)”集聚、“高低(HL)”集聚、“低高(LH)”集聚和“低低(LL)”集聚四种类型。

#### 4. 空间计量模型

本文采用空间计量模型对“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的空间效应进行探索。空间计量能有效解决模型中复杂的空间关联性与空间依赖性,根据空间依赖形式不同可分为空间滞后模型(SAR)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM),模型的一般化形式如下:

$$y = \rho W \times y + \alpha X + \beta W \times X + \mu_i + \eta_i + \varepsilon_i \tag{5}$$

$$\varepsilon_i = \lambda W \times \varepsilon_i + v_i, v_i \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 I_n) \tag{6}$$

其中,  $W$  为空间权重矩阵,  $X$  表征自变量,在本文中包括对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设、贸易开放、知识产权保护等核心解释变量及一系列控制变量,  $y$  为“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率,  $\mu_i$  和  $\eta_i$  分别表示个体和时间效应,  $\varepsilon_i$  为随机扰动项。当  $\beta = 0, \lambda = 0$  且  $\rho \neq 0$  时为一般 SAR 模型;当  $\beta = 0, \rho = 0$  且  $\lambda \neq 0$  时为 SEM,此时,随机扰动项表现出空间依赖性,不可观测的随机冲击或不包含在  $X$  中但对  $y$  有影响的遗漏变量存在空间相关性;当  $\rho \neq 0, \beta \neq 0$  且  $\lambda = 0$  时,应考虑 SDM。具体采用何种模型应视相关检验参数决定。

#### (二) 投入产出指标体系及影响因素

##### 1. 投入产出指标体系构建

本文基于创新价值链思想将专利密集型产业绿色创新过程分为绿色技术研发和绿色成果转化两个子阶段,并参考余硕等(2020)<sup>[23]</sup>和朱于珂等(2022)<sup>[24]</sup>的研究,将能源消耗和环境效益纳入绿色创新效率考察中。专利密集型产业绿色技术研发指从产业投入绿色研发资源到实现绿色科技产出(绿色专利等)的过程,专利密集型产业绿色成果转化阶段则是从资本、劳动和绿色科技投入到实现产业创新的经济与环境双重效益的过程。其中,将研发阶段的产出继续作为转化阶段的部分投入,体现了创新活动的连续性。专利密集型产业两阶段绿色创新效率的投入产出指标见表1。

表1 专利密集型产业两阶段绿色创新效率投入产出指标

一级指标	二级指标	三级指标
绿色技术研发投入变量	资本投入	绿色研发经费内部支出/万元
	劳动投入	绿色研发人员折合全时当量/(人/年)
绿色技术研发产出变量	无形技术成果	绿色发明专利申请数/件
		专利申请数/件
	有形中间产物	拥有(有效)发明专利数/件
		新产品开发项目数/项
绿色成果转化投入变量	资本投入	新产品开发经费支出/万元
	劳动投入	平均用工人数/万人
	技术投入	绿色发明专利申请数/件
		专利申请数/件
绿色成果转化产出变量	能源投入	拥有(有效)发明专利数/件
		新产品开发项目数/项
	期望产出(经济产出)	能源消费总量/万吨标准煤
		新产品销售收入/万元
非期望产出	二氧化碳排放量/百万吨	

由于当前没有针对绿色研发经费和人员的统计,参考毕克新等(2011)<sup>[25]</sup>和钱丽等(2021)<sup>[26]</sup>的做法,本文选取传统研发经费内部支出和研发人员全时当量进行替代,主要在于创新活动在带来经济绩效增加的同时,往往也会引致环境绩效的改善,将传统和绿色研发资源分离是比较困难的,研发资金和人力的总投入可在很大程度上衡量绿色研发投入。此外,省级专利密集型产业非期望产出的衡量需要明确省级分行业工业污染物(如二氧化硫)排放的统计口径,但目前相关口径缺失,考虑到工业污染物排放与二氧化碳排放同源,两者具有极强相关性<sup>[27-29]</sup>,故选取二氧化碳排放指标表征非期望产出,这也与绿色低碳转型的时代发展主题相符。

## 2. 空间计量影响因素选取

在参考已有研究<sup>[30-35]</sup>基础上,本文对专利密集型产业绿色创新效率的影响因素进行补充和完善,选取对外直接投资等变量为核心解释变量;为控制其他因素干扰,选取产业结构、金融环境支持、经济发展水平、城镇化水平和产业规模为控制变量。核心解释变量的含义为:

(1) 对外直接投资(OFDI)。对外直接投资可通过跨国并购、模仿、学习、交流以及竞争倒逼产生逆向绿色技术溢出<sup>[36-38]</sup>,专利密集型企业在“走出去”过程中,可通过在绿色技术密集的国家或地区设立协同研发中心、跨国并购拥有核心绿色技术的企业以及绿色专利转让、授权等渠道提高自身绿色创新能力,并将其反馈至国内。同时,根据边际产业转移理论<sup>[39-40]</sup>,对外直接投资可以将关键生产资源特别是绿色创新要素转移至回报率更高的专利密集型产业中,实现绿色创新资源的优化配置,最终提高专利密集型产业绿色创新效率。本文利用“一带一路”沿线省份 OFDI 存量数据进行分析,处理时结合历年平均汇率将用美元表示的非金融类 OFDI 存量数据换算为人民币单位。

(2) 外商直接投资。外商直接投资的技术溢出通常产生于竞争、劳动力流动和示范的过程<sup>[41]</sup>,并通过横向(行业内)和纵向(行业间)两条路径对东道国全要素生产率产生积极影响<sup>[42]</sup>。近年来,中国吸引外商直接投资结构持续优化,积极引导优质外资进入清洁能源、绿色低碳制造等领域,外商直接投资的绿色创新外溢效应也十分显著<sup>[43]</sup>。本文以“一带一路”沿线省份实际利用外资额流量指标来表征外商直接投资,并根据相应年份汇率将其折算为人民币单位。

(3) 政府支持。政府部门通过实施产业政策及提供财税资金支持为专利密集型产业发展创造了良好的外部环境。以科技研发补贴为例,一方面,研发补贴具有很强的“挤入效应”<sup>[44]</sup>,在为企业提供流动性资产的同时,能很大程度上分担企业从事绿色专利密集型产品创新活动的成本和风险,大幅增强专利密集型产业从事绿色创新活动的主观意愿。另一方面,研发补助作为引导企业绿色发展的重要宏观调控手段,可视为政府部门支持企业绿色创新的承诺<sup>[45]</sup>。本文选取“一带一路”沿线省份科技研发支出占政府财政总支出比重来衡量政府的支持力度。

(4) 基础设施建设。专利密集型产业与上下游产业关联密切,交通运输设施建设有助于提高专利密集型产业供应链整体水平和协调能力,促进创新资源要素有效流动<sup>[46]</sup>;通信设施建设有助于企业降低交易成本,提高管理效率<sup>[47]</sup>;能源基础设施的完善则为专利密集型产业高效生产提供了基本保障。此外,教育、医疗及社会保障等基础设施的改善,能通过提供更优质的教育资源和更全面的生活保障促进绿色创新型人员集聚,为区域绿色创新奠定人才基础。基于数据可得性和代表性,本文采用交通运输、仓储和邮电业增加值占国内生产总值(GDP)比重作为基础设施建设水平的代理指标。

(5) 贸易开放。近年来,中国不断加强海外布局专利,这些专利技术所属的产业多为专利密集型产业。在海外知识产权权益得到保障的基础上,贸易开放度的提高能促使产品出口规模大幅扩张<sup>[48]</sup>,为企业带来

规模经济效益,企业将有更多资金投入绿色技术的研发和转化活动中,形成良性运转,从而提高绿色创新效率。此外,出口贸易需求可能会通过“倒逼效应”激励企业重视绿色创新以确保出口产品满足相关要求<sup>[49]</sup>。本文选取货物进出口总额占GDP比重来表征贸易开放程度。

(6)知识产权保护。绿色创新双外部性特征决定了制度环境是激励绿色创新开展的基本保障<sup>[32]</sup>。在专利密集型产业绿色创新价值链中,绿色专利技术及其组合始终是最核心的无形资产。知识产权保护有助于处理好绿色创新活力和秩序之间的关系,营造良好的绿色创新市场氛围,促进绿色创新要素高效流动和绿色创新资源优化配置,进而提升专利密集型产业绿色创新效率。本文参考胡凯等(2012)<sup>[50]</sup>、田红彬和郝雯雯(2020)<sup>[51]</sup>的方法,采用技术市场交易额与GDP比重来衡量知识产权保护强度。

本文的变量定义与说明见表2。

表2 变量定义与说明

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	绿色技术研发效率	<i>GTR</i>	“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率值
	绿色成果转化效率	<i>GAT</i>	“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率值
核心解释变量	对外直接投资	<i>OFDI</i>	对外直接投资存量数据/亿元
	外商直接投资	<i>FDI</i>	实际利用外资额流量/亿元
	政府支持	<i>GS</i>	科技研发支出占政府财政总支出比重/%
	基础设施建设	<i>IC</i>	交通运输、仓储和邮电业增加值占GDP比重/%
	贸易开放	<i>TO</i>	货物进出口总额占GDP比重/%
	知识产权保护	<i>IPP</i>	技术市场交易额与GDP比值/%
	控制变量	产业结构	<i>SI</i>
	金融环境支持	<i>FES</i>	金融机构贷款余额/亿元
	经济发展水平	<i>EDL</i>	人均GDP/(万元/人)
	城镇化水平	<i>URL</i>	城镇人口占总人口比重/%
	产业规模	<i>IS</i>	专利密集型产业企业数量/个

### (三)数据来源

本文选取《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》中圈定的18个重点省份2005—2019年的面板数据为研究样本(西藏部分数据缺失,未纳入)。在保证数据可得原则上,结合美国专利商标局和欧洲专利局的经验并充分考虑中国专利密集型产业发展需求,识别得到烟草制品业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械和器材制造业、通用设备制造业、仪器仪表制造业、其他制造业、化学原料和化学制品制造业、医药制造业、有色金属冶炼和压延加工业、金属制品业以及计算机、通信和其他电子设备制造业等12个专利密集型行业,将行业数据加总得到“一带一路”沿线各省份专利密集型产业数据。文中数据来源于《中国统计年鉴》《中国高技术产业年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和各省份统计年鉴、国家知识产权局专利之星数据库、万得(Wind)数据库、中国碳排放数据库、中国人民银行以及国家外汇管理局等。采用插值法及外推法计算得到个别存在年份缺失问题的指标数据。同时,考虑到通货膨胀影响,本文采用工业品出厂价格指数,以2005年为不变基期,对研发经费内部支出、新产品开发经费和新产品销售收入指标进行平减,以剔除价格对指标数值的影响。考虑到绿色

创新投入产出的时滞性,本文在两阶段效率测算时均将指标值作滞后1年处理。此外,为了消除各变量由于量纲不同所产生的影响,本文在回归前对对外直接投资、外商直接投资、金融环境支持、经济发展水平和产业规模等变量作对数化处理。

### 三、“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率时空演化分析

#### (一) 总体效率分析

基于考虑非期望产出的 Super-SBM 测算得到 2006—2019 年“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率值,考察期内各省份效率均值见表 3。“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率均值分别为 0.997 和 1.095,按不同经济带划分<sup>①</sup>，“丝绸之路经济带”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率均值分别为 0.881 和 0.927,可以计算出在现有技术条件和资源投入下分别有 11.9% 和 7.3% 的提升潜力,现阶段应通过优化内部组织结构、提升运营管理水平等路径最大限度发挥绿色创新潜力,提高绿色创新效率,促进绿色创新最佳生产可能性边界不断向技术前沿面逼近;“21 世纪海上丝绸之路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率均值分别为 1.276 和 1.498,绿色技术研发和绿色成果转化活动最佳生产可能性边界均已达到技术前沿面,进一步提高绿色创新效率需要结合技术变革,依靠技术进步路径使技术前沿面外移。具体而言,青海、广东、新疆、海南、上海、浙江和云南的专利密集型产业绿色技术研发效率均值大于 1,吉林、广西、重庆、甘肃等沿线省份的效率均值小于 1;青海、海南、宁夏、广东、上海、福建、浙江和新疆的专利密集型产业绿色成果转化效率均值大于 1,内蒙古、重庆、甘肃、广西等沿线省份效率均值小于 1。云南、宁夏和福建出现了研发和转化失衡的情况,其中,云南的研发效率大于 1,但转化效率仅为 0.232,其专利密集型产业绿色技术研发效率达到有效状态,但将科技成果转化为实际绿色经济和环境效益的能力较弱;宁夏和福建的转化效率处于有效状态,但绿色技术研发水平还有很大提升空间。

表 3 2006—2019 年“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率均值

省份	均值		省份	均值	
	绿色技术研发阶段 (2006—2018 年)	绿色成果转化阶段 (2007—2019 年)		绿色技术研发阶段 (2006—2018 年)	绿色成果转化阶段 (2007—2019 年)
内蒙古	0.245	0.866	宁夏	0.543	2.341
辽宁	0.437	0.237	新疆	2.174	1.079
吉林	0.763	0.241	“一带”	0.881	0.927
黑龙江	0.260	0.238	上海	1.090	1.127
广西	0.708	0.260	浙江	1.071	1.101
重庆	0.661	0.650	福建	0.345	1.104
云南	1.017	0.232	广东	2.744	1.415
陕西	0.397	0.244	海南	1.130	2.744
甘肃	0.555	0.482	“一路”	1.276	1.498
青海	2.813	4.256	总体	0.997	1.095

<sup>①</sup> “丝绸之路经济带”(“一带”)沿线省份包括:内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、广西、重庆、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏;“21 世纪海上丝绸之路”(“一路”)沿线省份包括:上海、浙江、福建、广东、海南。



## (二) 时序演变特征分析

为系统分析“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的时序演变特征,依据 2006—2019 年效率测度结果绘制核密度曲线二维图(图 1)。由图 1 可得:(1)从曲线位置看,两阶段绿色创新效率的核密度曲线中心均逐渐向右移动,表明研究期内“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率呈逐步提升的演变态势。(2)从曲线波峰数量看,绿色技术研发效率核密度曲线由 2006 年的单峰演变为 2013 年的多个小侧峰,再到 2018 年出现三峰,绿色成果转化效率核密度曲线在 2007 年和 2014 年均均为双峰,并于 2019 年演变为三峰,以上演变过程揭示研究期内“一带一路”沿线省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率分布均表现出较明显的极化现象。(3)从曲线主峰形态看,绿色技术研发效率核密度曲线主峰高度在 2013—2018 年大幅提高,且由宽峰向窄峰形态变化,表明“一带一路”倡议实施后,沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率值的区域差异显著缩小,地区间非均质性减弱,绿色成果转化效率的曲线主峰形态演化则提示其区域差异变化不大。(4)从曲线拖尾看,研究期内绿色技术研发效率核密度曲线右侧拖尾出现了延长且抬厚趋势,即绿色技术研发效率处于高值区的省份数量占比提升,部分“一带一路”沿线省份绿色研发发展势头迅猛,成为新领跑者;研究期内绿色成果转化效率核密度曲线左拖尾及右拖尾均有缩短迹象,即沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率值分布趋于收敛。

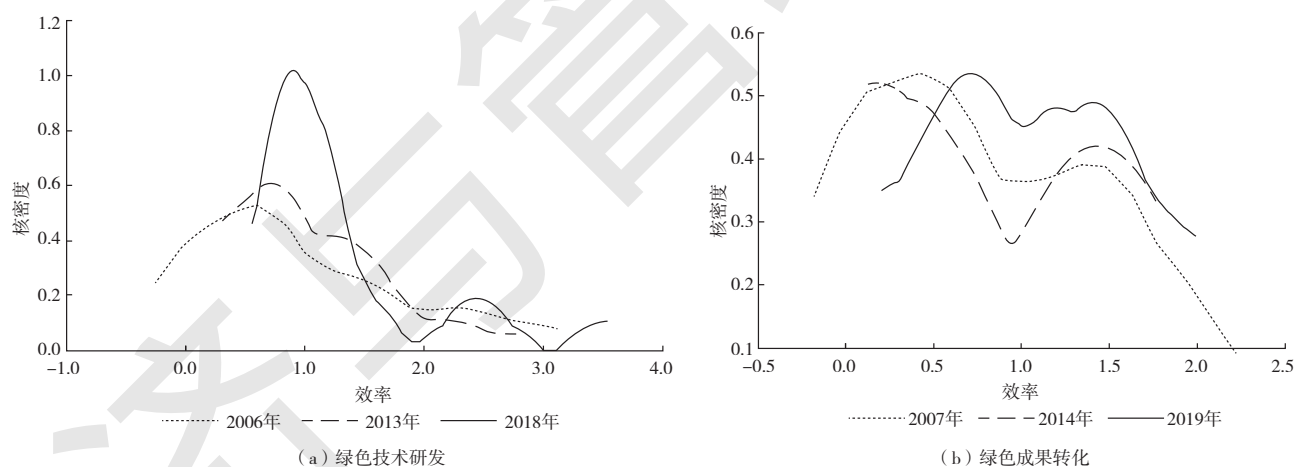


图 1 “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率核密度曲线

## (三) 空间格局特征分析

### 1. 全局空间格局特征

为了考察“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率是否存在全局空间自相关,本文对研究时段内全局莫兰指数进行了测度(使用软件 Stata 15.1 进行操作,后文采用相同的处理方式)。从表 4 可见,无论是研发还是转化阶段,全局莫兰指数均为正值并通过了显著性水平检验,这表明对于“一带一路”沿线区域而言,专利密集型产业绿色技术研发效率和绿色成果转化效率在空间上均并非随机分布,而是均呈现显著的空间正相关,出现了相似水平绿色创新效率集聚的空间特征。结合指数大小进一步判断,绿色技术研发效率的空间正相关性要强于绿色成果转化效率,“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新活动的空间集聚特征在绿色技术研发环节更为突出。绿色技术研发阶段主要依靠研发经费和研发人员投入,科研机

构区域之间往往存在频繁的资金和人员流动,同时,研发产出主要表现为绿色专利等显性技术知识,易于学习吸收,这种情形下,绿色技术研发的区域联动现象更为明显。相比之下,绿色成果转化主要涉及绿色新产品的管理、销售与市场分割等内隐性知识,地方保护主义和区域间的激烈市场竞争会在一定程度上降低绿色成果转化效率的空间集聚程度。

表4 “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率全局莫兰指数值

年份	绿色技术研发阶段		绿色成果转化阶段		年份	绿色技术研发阶段		绿色成果转化阶段	
	莫兰指数	Z得分	莫兰指数	Z得分		莫兰指数	Z得分	莫兰指数	Z得分
2006	0.011 ***	2.968	—	—	2013	0.115 ***	2.878	0.000 **	2.457
2007	0.084 ***	2.807	0.025 **	2.271	2014	0.213 **	2.144	0.013 **	2.212
2008	0.249 ***	2.652	0.004 **	2.120	2015	0.117 **	2.241	0.024 ***	3.090
2009	0.131 **	2.308	0.131 **	2.512	2016	0.135 ***	3.291	0.016 **	2.484
2010	0.106 **	2.543	0.136 **	2.409	2017	0.188 **	2.457	0.096 **	2.387
2011	0.081 ***	2.931	0.044 **	2.273	2018	0.253 ***	2.612	0.153 **	2.233
2012	0.165 **	2.479	0.061 **	2.079	2019	—	—	0.220 ***	2.994

注: \*\* 和 \*\*\* 分别表示 5% 和 1% 的显著性水平。后表同。

## 2. 局部空间格局特征

为体现“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率局部空间格局的演化特征,本文设定考察期初、“一带一路”倡议实施年份(2013年)与考察期末为节点,绘制了两阶段绿色创新效率的局部莫兰指数散点图(图2)。从图中可见大部分省份位于第一和第三象限,总体呈现“HH-高效型”集聚和“LL-低效型”集聚的分布特征。其中,在绿色技术研发阶段,效率空间格局变化幅度不大,“LL-低效型”集聚类型占比相对最高,且主要处于“丝绸之路经济带”地区,上海、浙江和海南于研究期末实现了向“HH-高效型”集聚的转变。在绿色成果转化阶段,效率空间格局呈现出显著的“HH-高效型”集聚向东南沿海集中的现象,考察期末上海、浙江、福建、广东和海南等全部五个“21世纪海上丝绸之路”沿线省份全部演化为“HH-高效型”集聚。

### (四) 时空跃迁分析

本文参考雷伊(Rey, 2001)<sup>[52]</sup>提出的时空跃迁法进一步揭示“一带一路”沿线省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率时空格局的动态跃迁特征,将时空跃迁划分为4种类型(见表5),并整理时空跃迁转移概率矩阵(见表6)。从时空跃迁转移数量看:在绿色技术研发效率方面,2006—2013年发生IV型跃迁的“一带一路”沿线省份有11个,占全部沿线区域的64.7%,表明该时期“一带一路”沿线区域专利密集型产业绿色技术研发效率空间关联演化具有较强的路径依赖特征,空间稳定性较强。2013—2018年发生IV型跃迁的“一带一路”沿线省份增至12个,占比超七成,说明“一带一路”倡议实施后,沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率的局部空间关联格局更加稳定。在绿色成果转化效率方面,2007—2014年过半数“一带一路”沿线省份的空间相对位置发生变化,该时期专利密集型产业绿色成果转化效率的空间格局较不稳定,其中发生I型、II型和III型跃迁的省份数量分别为2、4和3个。2014—2019年未发生时空跃迁的省份数量大幅增至14个,占比超八成,说明该时期“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率跃迁阻力显著增强,时空格局逐渐趋于稳定。从时空跃迁转移概率看:在绿色技术研发阶段,2006—2013年对角线上相同集聚类型转移的概率较高,非对角线上的转移概率较低。在非对角线上,实现向“HH-高效型”演化的概率相对较高,其中,“LH-空心型”向“HH-高效型”转移的概率为0.333,“LL-低效型”向“HH-高效型”转移的概

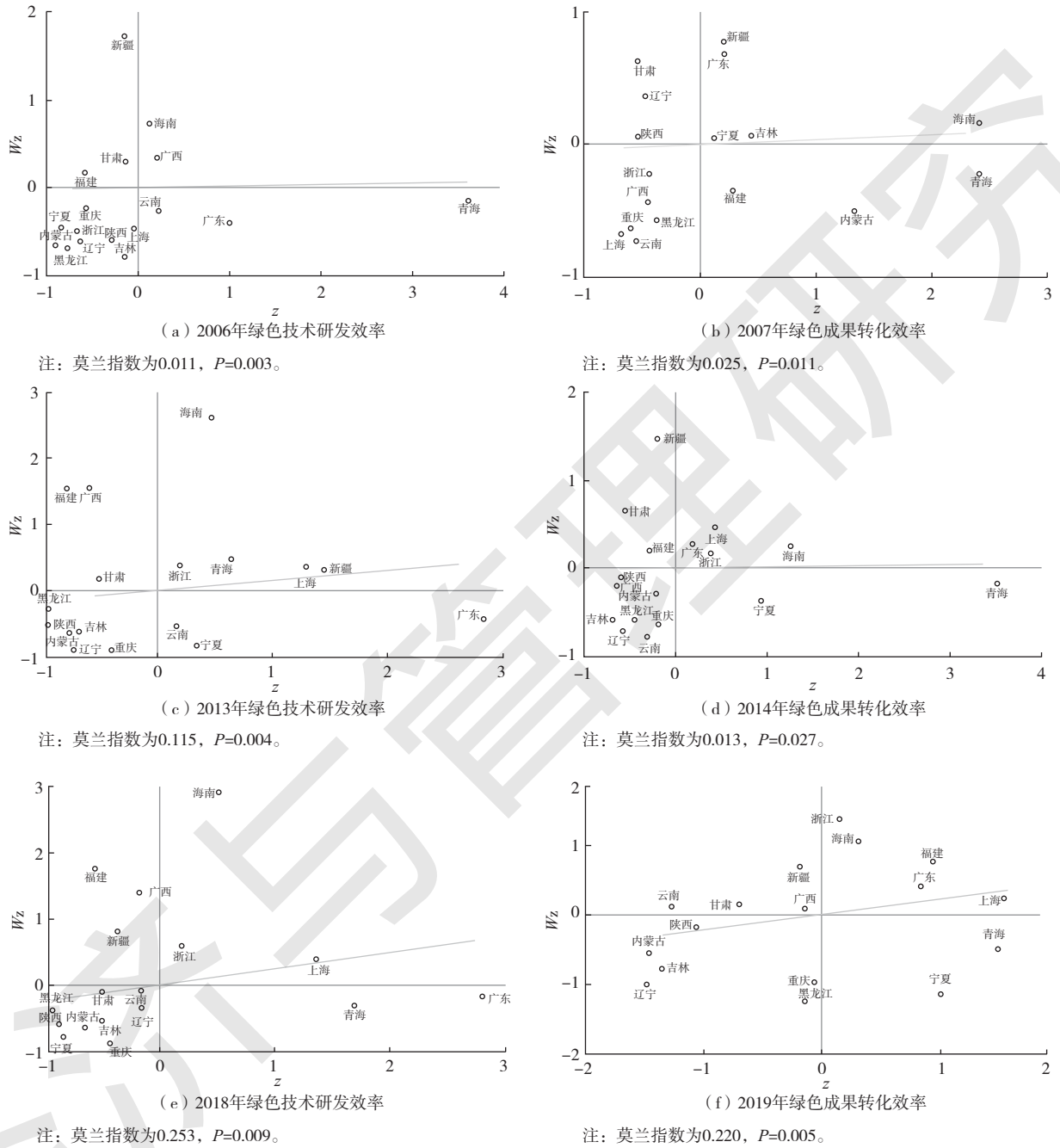


图2 “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率局部莫兰指数散点图

率为0.222,“HL-极化型”向“HH-高效型”转移的概率为0.333,表明该时期在空间关联相对位置发生变化的情形中,正向协同增长趋势更为常见。2013—2018年“LL-低效型”维持不变的概率为1,该时期原先隶属于低效率的省份与邻近省份形成了很强的空间锁定效应。在绿色成果转化阶段,2007—2014年对角线上的转移概率值并非均显著大于非对角线概率值,其中对于“LH-空心型”而言,发生向“LL-低效型”形式跃迁的概率(0.667)比维持原状的概率(0.333)更大,该情形下本地的低效率不仅没有得到改善,还可能会对邻地产生一定程度的不利影响。2014—2019年对角线上转移概率均大于非对角线的转移概率,最低值为

0.667,最高值为1,即“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率空间关联在该时期保持原集聚形式的可能性较大,说明“一带一路”倡议可能通过鼓励和引导沿线区域间的统筹和协调发展间接推动了专利密集型产业绿色成果转化效率较为稳定的空间格局的形成。此外,该时期非对角线上“HH-高效型”与“LH-空心型”“LL-低效型”“HL-极化型”之间均不存在转移的现象,且“LL-低效型”向“HH-高效型”转移的概率也为0,这表明该时期对于“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率而言,高效型地区之间能通过良性互动和溢出不断巩固区域优势,同时,实现从低效型向高效型的上游跃迁比较困难,低效型地区间容易形成相互锁定效应。

表5 时空跃迁基本类型划分

类型	涵义	形式
I型	自身跃迁,邻域稳定	HH→LH, LH→HH, HL→LL, LL→HL
II型	自身稳定,邻域跃迁	HH→HL, HL→HH, LH→LL, LL→LH
III型	自身跃迁,邻域跃迁	HH→LL, LH→HL, HL→LH, LL→HH
IV型	自身稳定,邻域稳定	HH→HH, HL→HL, LH→LH, LL→LL

表6 局部莫兰指数时空跃迁转移概率矩阵

阶段	时间跨度	形式	HH <sub>t+1</sub>	LH <sub>t+1</sub>	LL <sub>t+1</sub>	HL <sub>t+1</sub>
绿色技术研发	2006—2013年	HH <sub>t</sub>	IV(1,0.500)	I(1,0.500)	III(0,0)	II(0,0)
		LH <sub>t</sub>	I(1,0.333)	IV(2,0.667)	II(0,0)	III(0,0)
		LL <sub>t</sub>	III(2,0.222)	II(0,0)	IV(6,0.667)	I(1,0.111)
		HL <sub>t</sub>	II(1,0.333)	III(0,0)	I(0,0)	IV(2,0.667)
	2013—2018年	HH <sub>t</sub>	IV(3,0.600)	I(1,0.200)	III(0,0)	II(1,0.200)
		LH <sub>t</sub>	I(0,0)	IV(2,0.667)	II(1,0.333)	III(0,0)
		LL <sub>t</sub>	III(0,0)	II(0,0)	IV(6,1)	I(0,0)
		HL <sub>t</sub>	II(0,0)	III(0,0)	I(2,0.667)	IV(1,0.333)
绿色成果转化	2007—2014年	HH <sub>t</sub>	IV(2,0.400)	I(1,0.200)	III(1,0.200)	II(1,0.200)
		LH <sub>t</sub>	I(0,0)	IV(1,0.333)	II(2,0.667)	III(0,0)
		LL <sub>t</sub>	III(2,0.333)	II(0,0)	IV(4,0.667)	I(0,0)
		HL <sub>t</sub>	II(1,0.333)	III(0,0)	I(1,0.333)	IV(1,0.333)
	2014—2019年	HH <sub>t</sub>	IV(4,1)	I(0,0)	III(0,0)	II(0,0)
		LH <sub>t</sub>	I(1,0.333)	IV(2,0.667)	II(0,0)	III(0,0)
		LL <sub>t</sub>	III(0,0)	II(2,0.250)	IV(6,0.750)	I(0,0)
		HL <sub>t</sub>	II(0,0)	III(0,0)	I(0,0)	IV(2,1)

注:括号内为省份数量和转移概率。

#### 四、“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率空间效应分析

##### (一) 模型选择

“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率可能存在空间效应,故对其展开进一步探讨。首先要选取合适的空间计量模型,并判断采用固定效应模型还是随机效应模型,检验结果见表7。两阶段的空间自回归滞后变量模型(LM-Lag)、空间自相关误差模型(LM-error)以及相应的稳健性检验(Robust LM-Lag和Robust LM-error)结果均在1%的显著性水平下拒绝原假设,即样本可能适用SAR模型和SEM之一,亦可能

适用 SDM。进一步对 SDM 进行似然比 (LR) 和沃尔德 (Wald) 检验,观察能否将 SDM 简化为 SAR 模型或 SEM,结果表明拒绝将 SDM 简化。两阶段的豪斯曼 (Hausman) 检验值均通过了 1% 的显著性水平检验,拒绝了采用随机效应模型的原假设,说明采用固定效应模型更合理。同时,固定效应分为时间固定、个体固定和个体时间双固定效应,分别将 SDM 设定为三种效应进行检验,结果见表 8。根据赤池信息准则 (AIC) 和贝叶斯信息准则 (BIC),AIC 值及 BIC 值越小,模型解释力越高,对数似然值和  $R^2$  统计值越大,模型拟合度越好,对比表中检验结果发现,选择双固定效应模型更优。综上,本文采用双固定效应 SDM 的回归结果进行空间效应分析。

表 7 空间计量模型的检验结果

检验方式	检验模型	绿色技术研发阶段		绿色成果转化阶段	
		统计值	P 值	统计值	P 值
LM 检验	LM-Lag	13.261	0.000	16.958	0.000
	LM-error	14.635	0.000	18.845	0.000
	Robust LM-Lag	7.870	0.005	9.396	0.002
	Robust LM-error	7.024	0.008	13.151	0.000
LR 检验	SDM 与 SAR	30.19	0.000	37.150	0.000
	SDM 与 SEM	25.29	0.000	35.470	0.000
Wald 检验	SDM 与 SAR	18.380	0.005	15.480	0.017
	SDM 与 SEM	18.000	0.006	15.720	0.015
Hausman 检验	Hausman test	86.170	0.000	52.990	0.000

(二) 空间效应回归分析

表 8 显示,在双固定效应 SDM 下,“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率 (GTR) 空间自回归系数 ( $\rho$ ) 为 0.070,绿色成果转化效率 (GAT) 空间自回归系数 ( $\rho$ ) 为 0.056,且两者均在 1% 的水平上显著。这表明“一带一路”沿线省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率均存在正向空间溢出现象,即本地绿色创新效率与邻地绿色创新效率密切正相关。此外,研发阶段  $\rho$  大于转化阶段,即“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率的空间相关性强于绿色成果转化效率。

表 8 “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率 SDM 估计结果

变量	GTR			GAT		
	时间效应	个体效应	双固定效应	时间效应	个体效应	双固定效应
OFDI	0.044 (0.174)	0.105 * (0.058)	0.115 * (0.063)	0.063 (0.186)	0.093 * (0.048)	0.177 * (0.099)
FDI	0.195 *** (0.026)	0.213 (0.226)	0.216 * (0.123)	0.208 * (0.121)	0.176 ** (0.082)	0.042 * (0.022)
GS	0.019 (0.104)	0.041 ** (0.017)	0.254 ** (0.099)	0.079 ** (0.037)	0.065 (0.147)	0.272 * (0.159)
IC	0.020 * (0.011)	0.029 * (0.017)	0.139 ** (0.060)	0.119 *** (0.029)	0.135 * (0.075)	0.167 ** (0.078)
TO	-0.138 (0.174)	-0.074 (0.146)	-0.173 (0.109)	0.127 (0.226)	0.011 (0.186)	0.198 * (0.102)

表 8(续)

变量	GTR			GAT		
	时间效应	个体效应	双固定效应	时间效应	个体效应	双固定效应
<i>IPP</i>	0.018 (0.071)	0.072 (0.060)	0.047 * (0.025)	0.113 (0.087)	0.033 (0.075)	0.230 *** (0.078)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
$W \times OFDI$	0.212 (0.193)	0.024 (0.170)	0.185 (0.126)	0.017 * (0.010)	0.093 (0.179)	0.037 * (0.021)
$W \times FDI$	0.057 (0.223)	0.012 (0.218)	0.043 ** (0.021)	0.065 * (0.037)	0.024 (0.232)	0.192 * (0.103)
$W \times GS$	-0.311 ** (0.131)	-0.178 ** (0.083)	-0.372 * (0.194)	-0.038 (0.165)	0.007 (0.151)	-0.182 ** (0.074)
$W \times IC$	-0.085 (0.106)	-0.051 * (0.030)	-0.112 * (0.058)	-0.043 * (0.023)	-0.076 ** (0.038)	-0.147 * (0.079)
$W \times TO$	-0.046 ** (0.021)	-0.136 (0.155)	-0.153 (0.096)	0.068 (0.312)	0.145 ** (0.072)	0.377 ** (0.157)
$W \times IPP$	-0.244 ** (0.116)	-0.121 (0.105)	-0.015 * (0.008)	-0.222 * (0.127)	-0.006 ** (0.003)	-0.012 ** (0.006)
$W \times$ 控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>Log-Likelihood</i>	-231.168	-225.703	-181.3694	-198.272	-191.950	-83.706
<i>Spatial-rho</i> ( $\lambda$ )	0.039 * (0.022)	0.018 * (0.010)	0.070 *** (0.027)	0.070 ** (0.033)	0.013 * (0.007)	0.056 *** (0.012)
$R^2$	0.726	0.725	0.793	0.572	0.564	0.763
<i>AIC</i>	490.336	479.406	390.739	424.544	411.900	195.411
<i>BIC</i>	462.336	451.406	362.739	472.118	459.474	242.986
样本量	221	221	221	221	221	221

注: \* 表示 10% 的显著性水平, 括号内为稳健标准误。后表同。

为进一步讨论对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设、贸易开放和知识产权保护等影响因素对“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率的空间影响效应, 本文基于偏导矩阵法<sup>[53]</sup>计算各影响因素对两阶段绿色创新效率的直接效应、间接效应和总效应, 结果见表 9。

表 9 “一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率空间效应分解结果

变量	GTR			GAT		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
<i>OFDI</i>	0.117 *** (0.027)	0.177 * (0.098)	0.294 * (0.152)	0.189 ** (0.085)	0.038 ** (0.019)	0.227 ** (0.102)
<i>FDI</i>	0.213 * (0.117)	0.063 ** (0.027)	0.276 ** (0.129)	0.033 ** (0.016)	0.177 ** (0.087)	0.210 * (0.107)

表 9(续)

变量	GTR			GAT		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
GS	0.253 ** (0.126)	-0.163 ** (0.077)	0.090 ** (0.038)	0.276 * (0.154)	-0.165 ** (0.082)	0.111 (0.234)
IC	0.138 ** (0.056)	-0.125 (0.091)	0.013 * (0.007)	0.157 ** (0.074)	-0.128 (0.111)	0.029 * (0.016)
TO	-0.172 (0.177)	-0.141 (0.094)	-0.313 (0.198)	0.195 ** (0.089)	0.363 *** (0.135)	0.558 ** (0.220)
IPP	0.051 ** (0.025)	-0.035 ** (0.017)	0.016 ** (0.008)	0.244 *** (0.078)	-0.107 ** (0.045)	0.137 ** (0.064)

### 1. 绿色技术研发阶段空间效应

总效应反映了影响因素对包括本地和邻近地区的区域范围的影响,表 9 结果显示除了贸易开放的系数未通过显著性检验,对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设和知识产权保护均与区域专利密集型产业绿色技术研发效率显著正相关。

直接效应方面:对外直接投资对“一带一路”沿线省份本地专利密集型产业绿色技术研发有显著正向影响,一方面,对外直接投资逆向绿色技术溢出带动了本地绿色研发技术改造和升级;另一方面,对外直接投资的边际产业扩散效应协助促进了本地绿色创新要素的优化配置。外商直接投资对本地专利密集型产业绿色技术研发效率提升有利,外商直接投资绿色技术溢出在这一环节发挥了重要作用。政府支持对本地专利密集型产业绿色技术研发产生了积极影响,政府提供的财税补贴优惠,帮助专利密集型企业稀释了从事绿色技术研发的高投入、长回报周期风险,有效激发了企业从事绿色技术研发的主观意愿。基础设施建设会促进本地专利密集型产业绿色技术研发效率的提升,更完善的基础设施建设为专利密集型产业创造了更优质的硬件条件,提高了产业供应链运作和管理效率,同时也促进了绿色研发知识的交流与吸收。贸易开放对本地专利密集型产业绿色技术研发影响不显著。知识产权保护对本地专利密集型产业绿色技术研发效率提高有显著作用,营造良好的知识产权保护社会氛围、增强本地专利密集型企业绿色研发信心,对于改善效率非常关键。

间接效应方面:对外直接投资对邻近“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率有显著的正向促进作用,本地通过对外直接投资逆向绿色技术溢出获得的先进绿色技术研发知识和经验,会通过学习交流、合作以及适度模仿的路径产生“涓滴”影响,间接提高邻近省份的绿色研发要素水平,从而对绿色研发效率产生正向影响。外商直接投资对邻近省份专利密集型产业绿色技术研发效率提升有积极作用,产生正向空间溢出效应,通过外商直接投资引进的先进绿色技术研发和经验,同样会经过学习交流、合作及模仿吸收辐射至周边地区,带动周边地区专利密集型产业绿色技术研发效率的提升。政府支持对邻近省份专利密集型产业绿色技术研发效率的估计系数显著为负,表现为负向空间溢出,本地政府对专利密集型产业的财税优惠和引导扶持力度越大,给邻近省份带来的竞争压力也越大,邻近省份可能会面临优秀创新型企业外迁的不利局面,进而出现研发效率的下降。基础设施建设和贸易开放对邻近省份专利密集型产业绿色技术研发效率的空间影响效应未通过显著性检验。值得注意的是,知识产权保护对邻近省份专利密集型产业

绿色技术研发效率具有一定抑制作用,表现为负向空间溢出,呈现出空间竞争现象,对知识产权保护的高度重视虽大幅提高了本地专利密集型企业的绿色研发信心和意愿,但对邻近省份的相关企业也产生了巨大的吸引力,会在一定程度上极化吸收邻近省份的绿色研发要素,最终对邻近省份专利密集型产业绿色技术研发效率产生不利影响。

## 2. 绿色成果转化阶段空间效应

总效应结果显示,对外直接投资、外商直接投资、基础设施建设、贸易开放和知识产权保护与区域专利密集型产业绿色成果转化效率显著正相关,政府支持的影响未通过显著性检验。

直接效应方面:对外直接投资和外商直接投资均促进“一带一路”沿线省份本地专利密集型产业绿色成果转化效率的提升,绿色成果转化是将绿色技术成果从科研单位转移到社会生产部门,促进新产品增加、工艺改进的过程,同时还需要兼顾经济与环境效益的协调,对外直接投资和外商直接投资通过双向技术溢出渠道不仅能为当地带来先进的绿色研发知识和经验,还能带来先进的绿色生产制造技术和管理理念,从而提高绿色成果转移转化和市场化落地能力,此外,对外直接投资的创新要素优化配置效应也间接促进了本地效率的提高。政府支持对本地专利密集型产业绿色成果转化效率提升有显著正向影响,专利密集型产业绿色技术转化和市场化落地带来的环境效益是政府绿色治理所需,然而科技成果转化具有高收益和高风险并存的突出特征,技术成熟度、市场反馈以及同行模仿等潜在因素均会影响转化主体对转化效益的预期,进而导致绿色技术成果搁置和转化不足的问题,政府提供的各项财税补贴能很大程度上激励转化主体的转化意愿。基础设施建设对本地专利密集型产业绿色成果转化有显著正向影响,绿色新产品的生产制造和市场化落地离不开交通、能源等基础设施的支持。与研发阶段不同,贸易开放对本地专利密集型产业绿色成果转化效率有积极影响,贸易开放度的提高促进了专利密集型产品出口大幅增长,为专利密集型企业带来了规模经济效益,企业将有更强的动力继续促进绿色专利技术成果的转化和市场化落地。知识产权保护的估计系数显著为正,竞争者过度模仿和仿造是科技成果转化方面面临的重要风险,知识产权保护为绿色技术成果转化受益人提供了法律制度保障,是促进专利密集型产业绿色成果转化效率提高的重要因素。

间接效应方面:对外直接投资和外商直接投资均有利于邻近“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色成果转化效率提升,产生正向空间溢出效应,对外直接投资和外商直接投资通过逆向和正向绿色技术溢出渠道提升本地专利密集型产业绿色制造工艺水平及管理理念后,会进一步溢出至邻近省份并促进其绿色成果转化效率提高。政府支持对邻近省份专利密集型产业绿色成果转化有显著的抑制作用,产生负向空间溢出,即表现为空间竞争效应,突出的政策优势会吸引邻近省份绿色成果转化所需技术和人才要素向本地流动,从而抑制邻地绿色技术成果的市场化转化。基础设施建设对邻近省份专利密集型产业绿色成果转化效率的空间影响效应并不显著。不同于研发阶段,贸易开放对邻近省份专利密集型产业绿色成果转化效率产生正向空间溢出,贸易开放度的提高增加了专利密集型产品的海外市场出口需求,这一需求会刺激带动邻近省份的专利密集型产品生产,从而对邻地专利密集型产业绿色成果转化提出了更高要求。知识产权保护的估计系数显著为负,对邻近省份专利密集型产业绿色成果转化效率有显著的负向空间溢出效应,表现出空间竞争的现象,出于对潜在市场风险的担忧,绿色科技成果持有者往往更倾向于在知识产权行政和司法保护更好的邻近地区开展后续实验开发、产品应用和市场化推广,这也导致知识产权保护水平较低地区的专利密集型产业绿色成果转化受到不利影响。

### (三) 稳健性检验

由于空间计量模型对空间权重矩阵的选择较为敏感的原因,本文借鉴胡才龙和魏建国(2022)<sup>[54]</sup>的方



法,采用将邻接空间权重矩阵更换为地理距离空间权重矩阵的方式来进行稳健性检验。更换空间权重矩阵后的双固定效应SDM的估计结果<sup>①</sup>显示,各影响因素的系数方向和显著性水平均没有发生根本性变化,佐证了前文研究结果的可靠性。

## 五、结论与启示

### (一) 主要研究结论

本文主要结论如下:(1)考察期内“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发效率和绿色成果转化效率的总体均值分别为0.997与1.095,其中,“丝绸之路经济带”区域专利密集型产业绿色技术研发效率和绿色成果转化效率分别有11.9%和7.3%的提升空间,“21世纪海上丝绸之路”区域专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化活动最佳生产可能性边界均已达到技术前沿面。(2)时间序列上,“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率均呈逐步提升态势并伴随极化现象;空间格局上,两阶段绿色创新效率均有显著的空间正相关性,且绿色技术研发效率空间相关性强于绿色成果转化效率,绿色创新效率的空间集聚特征在绿色技术研发环节表现更为突出,绿色技术研发效率的时空跃迁表现出较高的稳定性,路径依赖性较强,占比最高的“LL-低效型”集聚主要位于部分“一带”区域,转化阶段呈现出“HH-高效型”集聚区向位于东南沿海的“一路”区域集中的趋势,且时空格局逐渐趋于稳定。(3)对于绿色技术研发阶段而言,对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设和知识产权保护与本地专利密集型产业绿色创新效率显著正相关,贸易开放的影响未通过显著性检验;对于绿色成果转化阶段而言,对外直接投资、外商直接投资、政府支持、基础设施建设、贸易开放和知识产权保护均有利于本地专利密集型产业绿色创新效率提升。(4)对外直接投资和外商直接投资对邻近省份专利密集型产业绿色技术研发和绿色成果转化效率均产生显著的正向空间溢出效应,发挥辐射带动作用,政府支持和知识产权保护则对邻近省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率均有负向空间溢出影响,呈现出空间竞争特征,贸易开放对邻近省份专利密集型产业绿色成果转化效率产生正向空间溢出,基础设施建设与邻近省份专利密集型产业两阶段绿色创新效率均未表现出显著空间关联。

### (二) 政策建议

本文的政策建议包括:(1)“一带”沿线省份应持续引导专利密集型产业优化绿色创新要素配置,加大绿色创新型人才引进、培育力度,鼓励绿色新技术研发和低碳突破性创新,提高绿色技术研发效率,同时需积极促进绿色科技成果转化风险补偿制度落地,完善产品化和市场化全链条服务体系,进一步促进专利密集型产业绿色成果转移转化。“一路”沿线省份应大胆开展技术变革,加大绿色低碳转型前沿技术项目投入,引入先进绿色生产制造技术和管理理念,进一步提升专利密集型产业绿色创新效率。此外,还要加强绿色技术研发和成果转化协同,尝试构建专利密集型产业绿色科技成果常态化对接机制,避免出现两阶段创新脱节的现象。(2)“一带一路”沿线省份应充分利用好专利密集型产业绿色创新的空间集聚优势,加强对专利密集型产业绿色发展规划、绿色招商引资、绿色人力资源和绿色运营管理等方面的整合,深化专利密集型产业与上下游关联产业的配套合作,形成一批布局合理、分工明确、绿色竞争力强的专利密集型产业集聚区。要发挥专利密集型产业绿色技术研发活动的空间联动优势,引导和促进邻近区域间的信息、技术和人

<sup>①</sup> 限于篇幅,省略稳健性检验结果,备索。

才交流互动,同时需进一步加强专利密集型产业绿色成果转移转化的区域融合,打破地方保护和市场分割,削弱制度壁垒,合力推动绿色科技成果落地转化。(3)充分依托“一带一路”平台作用,稳步提升沿线省份对外开放力度,积极鼓励对外直接投资,并着重吸纳绿色低碳领域外商直接投资,优化外商直接投资结构,同时要持续推进基础设施建设,加大对专利密集型产业绿色创新的财税支持,并提高知识产权行政和司法保护水平。(4)因地制宜推动“一带一路”沿线省份专利密集型产业形成有机联动与协同发展的区域一体化绿色发展格局。充分发挥双向直接投资和贸易开放对邻近地区专利密集型产业绿色创新效率的正向空间溢出作用,尤其是对属于“HL-极化型”和“LH-空心型”集聚的“一带一路”沿线省份而言,要通过完善区域协同打通双向直接投资和贸易开放向邻近地区的有效辐射渠道。同时,鉴于政府支持和知识产权保护对邻近“一带一路”沿线省份专利密集型产业绿色创新效率表现出的空间竞争效应,应在国家层面统筹协调区域政府支持策略和知识产权保护力度,适度结合政策倾斜缩小本地与邻地间在财税支持和知识产权行政和司法保护方面的差距,尽量避免出现绿色创新资源因就近转移而导致向一地过度“极化”的局面。(5)以“一带一路”倡议为重大契机,引导沿线省份专利密集型企业更好地“走出去”,激励企业在海外积极开展绿色技术尤其是清洁能源、二氧化碳捕捉与封存技术等低碳技术的国际深度研发合作;同时,应积极引进先进绿色研发和制造技术,鼓励国际优质绿色专利持有者通过技术入股和合作经营等方式实现绿色技术创新成果在中国的落地实践。

#### 参考文献:

- [1] Economics and Statistics Administration, United States Patent and Trademark Office. Intellectual property and the U. S. economy: industries in focus [R]. Washington, DC: U. S. Department of Commerce, 2012.
- [2] Economics and Statistics Administration, United States Patent and Trademark Office. Intellectual property and the U. S. economy: 2016 update [R]. Washington, DC: U. S. Department of Commerce, 2016.
- [3] United States Patent and Trademark Office. Intellectual property and the U. S. economy [R]. 3rd ed. Washington, DC: U. S. Department of Commerce, 2022.
- [4] European Patent Office. Intellectual property rights intensive industries: contribution to economic performance and employment in the European Union [R]. Munich: EPO and OHIM, 2013.
- [5] 徐明, 姜南. 专利密集型产业对工业总产值贡献率的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(4): 119-127.
- [6] 姜南, 单晓光, 漆苏. 知识产权密集型产业对中国经济的贡献研究[J]. 科学学研究, 2014, 32(8): 1157-1165.
- [7] 李黎明. 知识产权密集型产业测算: 欧美经验与中国路径[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(14): 55-62.
- [8] PHAM N D. IP-intensive manufacturing industries: driving U. S. economic growth [R]. Washington, DC: NDP Analytics, 2015.
- [9] CHOI S, SHIN S J, CHOI S, et al. Analyzing efficiency of IP-intensive industries: the case of Korea [J]. ICIC Express Letters, Part B: Applications, 2016, 7(10): 2241-2246.
- [10] 王黎莹, 王佳敏, 虞微佳. 区域专利密集型产业创新效率评价及提升路径研究——以浙江省为例[J]. 科研管理, 2017, 38(3): 29-37.
- [11] 杨武, 杨大飞, 雷家骅. R&D投入对技术创新绩效的影响研究[J]. 科学学研究, 2019, 37(9): 1712-1720.
- [12] 李柏洲, 王丹. 我国专利密集型产业动态效率测度及时空演化[J]. 科学学研究, 2020, 38(11): 1987-1997.
- [13] 朱承亮, 刘瑞明, 王宏伟. 专利密集型产业绿色创新绩效评估及提升路径[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(4): 61-79.
- [14] 侯建, 陈恒. 中国高专利密集度制造业技术创新绿色转型绩效及驱动因素研究[J]. 管理评论, 2018, 30(4): 59-69.
- [15] 袁茜, 吴利华, 张平. 我国专利密集型产业绿色全要素生产率测度及收敛性研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(14): 76-85.
- [16] HANSEN M T, BIRKINSHAW J. The innovation value chain [J]. Harvard Business Review, 2007, 85(6): 121-130.
- [17] ROPER S, DU J, LOVE J H. Modelling the innovation value chain [J]. Research Policy, 2008, 37(6/7): 961-977.
- [18] 付帼, 卢小丽, 武春友. 中国省域绿色创新空间格局演化研究[J]. 中国软科学, 2016(7): 89-99.

- [19] 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[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(5): 78-97.
- [20] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [21] LI H, FANG K N, YANG W, et al. Regional environmental efficiency evaluation in China: analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 58(5/6): 1018-1031.
- [22] SILVERMAN B W. Density estimation for statistic and data analysis[M]. London: Chapman and Hall, 1986.
- [23] 余硕, 王巧, 张阿城. 技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(8): 44-61.
- [24] 朱于珂, 高红贵, 徐运保. 双向 FDI 协调发展对工业绿色技术创新效率的影响——基于政府质量的调节作用[J]. 生态经济, 2022, 38(8): 40-49.
- [25] 毕克新, 杨朝均, 黄平. FDI 对我国制造业绿色工艺创新的影响研究——基于行业面板数据的实证分析[J]. 中国软科学, 2011(9): 172-180.
- [26] 钱丽, 王文平, 肖仁桥. 高质量发展视域下中国企业绿色创新效率及其技术差距[J]. 管理工程学报, 2021, 35(6): 97-114.
- [27] 郭广涛, 郭菊娥, 柴建. 西部发展节能服务的低碳效应及其政策研究[J]. 管理评论, 2010, 22(6): 71-76.
- [28] 肖挺, 刘华. 产业结构调整与节能减排问题的实证研究[J]. 经济学家, 2014(9): 58-68.
- [29] 董直庆, 王辉. 市场型环境规制政策有效性检验——来自碳排放权交易政策视角的经验证据[J]. 统计研究, 2021, 38(10): 48-61.
- [30] 王惠, 苗壮, 王树乔. 空间溢出、产业集聚效应与工业绿色创新效率[J]. 中国科技论坛, 2015(12): 33-38.
- [31] 肖仁桥, 沈路, 钱丽. “一带一路”沿线省份工业企业绿色创新效率及其影响因素研究[J]. 软科学, 2020, 34(8): 37-43.
- [32] 杨朝均, 王冬彧, 毕克新. 制度环境对工业绿色创新的空间效应研究[J]. 科研管理, 2021, 42(12): 108-115.
- [33] 董会忠, 曹正旭, 张仁杰. 中国高技术产业两阶段绿色创新效率及影响因素识别[J]. 统计与决策, 2022, 38(6): 44-49.
- [34] 杜莉, 马遥遥. “一带一路”沿线国家的绿色发展绩效及驱动因素研究[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2022(1): 173-183.
- [35] 欧阳晓灵, 张骏豪, 杜刚. 环境规制与城市绿色技术创新: 影响机制与空间效应[J/OL]. 中国管理科学, 2022[2022-10-21]. <http://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0642>.
- [36] 韩先鋒, 李勃昕, 刘娟. 中国 OFDI 逆向绿色创新的异质动态效应研究[J]. 科研管理, 2020, 41(12): 32-42.
- [37] 张伟科, 葛尧. 对外直接投资对绿色全要素生产率的空间效应影响[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 26-35.
- [38] 章志华, 孙林. 金融发展提升了 OFDI 的绿色创新效率? [J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2022, 43(3): 124-134.
- [39] KOJIMA K. Macroeconomic versus international business approach to direct foreign investment[J]. *Hitotsubashi Journal of Economics*, 1982, 23(1): 1-19.
- [40] KOJIMA K. The “flying geese” model of Asian economic development: origin, theoretical extensions, and regional policy implications[J]. *Journal of Asian Economics*, 2000, 11(4): 375-401.
- [41] BLOMSTRÖM M, SJÖHOLM F. Technology transfer and spillovers: does local participation with multinationals matter? [J]. *European Economic Review*, 1999, 43(4/5/6): 915-923.
- [42] 王滨. FDI 技术溢出、技术进步与技术效率——基于中国制造业 1999~2007 年面板数据的经验研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, 27(22): 93-103, 117.
- [43] 汪莉, 于佳鑫, 邵雨卉. 外商直接投资与区域绿色全要素效率[J]. 财贸研究, 2019, 30(10): 17-30.
- [44] 董景荣, 张文卿, 陈宇科. 环境规制工具、政府支持对绿色技术创新的影响研究[J]. 产业经济研究, 2021(3): 1-16.
- [45] 张志昌, 任淮秀. 政府补贴、寻租与企业研发人力资本投入[J]. 云南财经大学学报, 2020, 36(3): 92-103.
- [46] 雷淑珍, 王艳, 高煜. 交通基础设施建设是否影响了区域创新[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(21): 24-33.
- [47] 孙早, 徐远华. 信息基础设施建设能提高中国高技术产业的创新效率吗? ——基于 2002—2013 年高技术 17 个细分行业面板数据的经验分析[J]. 南开经济研究, 2018(2): 72-92.
- [48] 耿晔强. 贸易开放、FDI 与中国制造业出口——基于中国省际面板数据的实证研究[J]. 江汉论坛, 2015(6): 12-18.
- [49] 武力超, 丛珊, 林澜, 等. 出口对企业绿色技术创新的理论与实证研究[J]. 南方经济, 2022(8): 52-72.
- [50] 胡凯, 吴清, 胡毓敏. 知识产权保护的技术创新效应——基于技术交易市场视角和省级面板数据的实证分析[J]. 财经研究, 2012, 38(8): 15-25.
- [51] 田红彬, 郝雯雯. FDI 环境规制与绿色创新效率[J]. 中国软科学, 2020(8): 174-183.
- [52] REY S J. Spatial empirics for economic growth and convergence[J]. *Geographical Analysis*, 2001, 33(3): 195-214.
- [53] LESAGE J P, PACE R K. Introduction to spatial econometrics[M]. New York: CRC Press, 2009.
- [54] 胡才龙, 魏建国. 地方政府债务水平与金融效率对经济开放度的驱动机制研究[J]. 经济评论, 2022(1): 82-95.

## Spatio-temporal Evolution and Spatial Effect of Green Innovation in Patent-intensive Industries in Provinces Along the Belt and Road

ZUO Yi, ZHOU Yanping

(Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510)

**Abstract:** This paper uses the Super-SBM model considering undesirable output to measure the two-stage green innovation efficiency of patent-intensive industries in provinces along the Belt and Road, namely, green technology R&D (GTR) efficiency and green achievement transformation (GAT) efficiency. Then, it reveals the spatio-temporal evolution characteristics in both stages with kernel density analysis and spatial auto-correlation analysis and further investigates the spatial effect of green innovation efficiency with the spatial Dubin model. The findings show that the average efficiencies of GTR and GAT of patent-intensive industries in provinces along the Belt are 0.881 and 0.927 respectively, while for provinces along the Road the average efficiencies are 1.276 and 1.498 respectively. Moreover, green innovation efficiency generally shows an improvement trend with the polarization phenomenon, and there are positive spatial auto-correlations in both stages. The correlation of GTR efficiency is stronger than that of GAT efficiency. The “LL” agglomerations of GTR efficiency are mainly located in the Belt, and the spatio-temporal pattern is relatively stable. In contrast, the GAT efficiency shows a trend of “HH” agglomerations converging to the Road and gradually tending to be steady. Considering two stages as a whole, outward foreign direct investment (OFDI), foreign direct investment (FDI), government support, infrastructure construction, trade openness and intellectual protection promote green innovation in local patent-intensive industries. Specifically, OFDI and FDI have a positive spatial spillover effect on both GTR efficiency and GAT efficiency of patent-intensive industries in neighboring regions while trade openness has a positive spatial spillover effect on GAT efficiency in neighboring regions, playing the role in radiation and stimulation. However, government support and intellectual property protection have negative spatial spillover effects on both GTR efficiency and GAT efficiency in neighboring areas, exhibiting the characteristics of spatial competition. Based on the above results, this paper puts forward the following suggestions. Firstly, provinces along the Belt should optimize the internal organizational structure and improve the level of operation and management in patent-intensive industries to promote green innovation, and provinces along the Road should carry out technological changes to further optimizing green innovation efficiency on basis of consolidating the current performance. Secondly, provinces along the Belt and Road should give full play to the spatial agglomeration advantage of green innovation in patent-intensive industries. Thirdly, it is necessary to steadily promote green innovation in patent-intensive industries in provinces along the Belt and Road by strengthening OFDI, FDI, government support, infrastructure construction, trade openness and intellectual property protection. Fourthly, patent-intensive industries in provinces along the Belt and Road should promote the formation of a regional integrated green development pattern with synergetic development according to local conditions. Fifthly, patent-intensive enterprises in provinces along the Belt and Road should take the Belt and Road Initiative as an important opportunity to go aboard and carry out overseas cooperative R&D of green technology. Meanwhile, policy makers should attract overseas high-quality green patents to be applied to practice in China.

**Keywords:** the Belt and Road; patent-intensive industry; two-stage green innovation; green innovation efficiency; spatio-temporal evolution; spatial effect

责任编辑:姜 莱;姚望春