

长江经济带科技创新的空间溢出 ——效应测度、路径识别与协同放大

白永亮 石 磊

摘 要 科技创新的空间溢出对长江经济带加快增长方式转变,促进产业结构调整,探索东中西部互动合作,提升经济带整体经济发展效率具有重要价值。引入空间关系特征和社会经济特征两类空间矩阵,运用静态与动态空间面板计量模型进行量化分析可以发现:空间关系特征和社会经济特征均对创新产出的空间溢出有显著的正效应,但社会经济特征影响更大,信息传播距离在长期中比经济距离对创新活动的空间影响更显著。选择变量也存在空间溢出效应差别:FDI 在短期和长期均会产生科技创新空间溢出负效应,R&D 人员的短期空间溢出效应显著为正,而长期空间溢出效应不显著,外在环境对区域科技创新的空间溢出有显著的正效应。

关键词 长江经济带;科技创新;空间溢出;区域协同;空间权重;经济距离空间权重;信息距离空间权重;FDI

中图分类号 F719 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2019)01-0121-14

基金项目 国家社会科学基金一般项目(16BGL199);湖北省区域创新能力监测与分析软科学研究基地开放基金项目(HBQY2017Z08);湖北省软科学研究项目(2016ADC018)

一、引言

中国经济进入新常态,对外经济下行压力较大,迫切需要寻找新的经济增长动力源。2014 年底中央把长江经济带的发展上升为国家战略。长江经济带对新常态下重新部署优化经济发展空间格局,在不断优化空间结构的过程中探索扩大空间溢出效应具有重大意义。长江经济带建设将以长江黄金水道为发展轴,以长江沿线大、中型城市为核心,通过挖潜城市间集聚与扩散功能,实现横跨东中西三大区域之间的深度合作,在注重保护的前提下不断提升各城市的经济发展质量和水平,建成世界上极具影响力的最大的协同发展内河经济带。因此,探索东中西部合作关系是长江经济带未来建设的重要任务,而利益共享是区域间合作的动力与基础,区域间合作具体表现为各种生产要素在市场经济的作用下跨区域的流动,这种跨区域的要素流动会产生空间外溢效应,进而会影响到区域经济增长和区域经济效益。挖掘要素流动的经济潜力,推动区域间深度合作,持续扩大正外部效应,不断提升经济带整体经济效益,实现多区域共赢是长江经济带建设的经济逻辑。

空间溢出依赖于要素流动,属于流量经济。要素流动增加了经济的空间密集水平,进而可以改善空间结构,将更有利于空间溢出的发生。科技要素流动相对劳动力和商品要素流动而言有其特殊规律性,区位优势、利益差额、流动载体、制度政策、交通运输、地理条件、文化差异等对其空间流动具有重要影响。科技创新作为经济增长的引擎,具有加速效应,在长江经济带“转方式、调结构、促发展”的过程中

必将发挥作用。鉴于此,本文将长江经济带科技创新过程中的空间溢出作为一个迫切需要解决的理论命题。长江经济带科技创新过程中的空间溢出效应逻辑体系应该归纳为以下四个层面的问题:一是科技创新的空间分布不均衡作为空间溢出的基础,其具体态势如何?二是区域间到底是否存在科技创新的空间溢出?溢出效应大小和溢出的方向如何?三是空间溢出是通过什么样的路径传导的?四是区域间如何根据溢出效应大小和溢出路径开展协同?

二、文献综述

科技创新是新知识、新技术和新工艺的开发和创新,是科技含量高的技术创造过程。科技创新本身就是交互作用的过程,存在着明显的空间关联性。现有的关于科技创新空间溢出效应的文献主要集中在以下几个方面。

第一,空间维度的科技创新与经济增长研究。科技创新对经济增长的影响是经济增长理论研究的重点。较早研究技术创新与经济增长关系的学者认为,除了资本和劳动外,技术进步是长期经济增长的重要解释变量,但技术进步是一种外生变量。有学者从理论和实证角度证明了技术进步对产出水平、经济增速和生产水平等的提高具有重要作用^[1](P31-35)。此后的内生增长理论学家开始把技术进步进行内生化,并开始关注技术进步的外部性问题,科技创新对区域经济增长的研究已经不能绕开空间维度的研究。例如,Arbia 认为在区域研究过程中若缺少对空间相互作用研究就可能会产生前后矛盾不一致的结果^[2](P646-648)。Gianni Guastella 在研究欧洲科技创新时发现,忽略空间异质性可能会导致对空间外溢效应的估计偏差^[3](P1772-1787)。以上研究表明空间相互作用已经成为区域科技创新研究的重要影响因素。科技创新的空间溢出效应为现代经济增长提供了新动力。

第二,科技创新的空间分布研究。科技创新的空间分布是科技创新能否形成空间溢出的基础。创新活动在地理空间上呈现出高度非均衡性,并且是相互关联的,一般都是集中在个别“中心地带”。Moreno 等研究了创新活动的空间分布及其影响因素^[4](P1793-1812)。Lim 则发现创新活动主要集中在加利福尼亚州和新英格兰地区以及南部等沿海都市区^[5](P97-126)。国内学者的研究也得出了类似结论。例如,魏守华认为,我国区域科技创新能力在空间上是具有正相关性的,东部地区尤为明显^[6](P152-160)。由此看来,空间分布会影响到溢出效应的大小和溢出的方向。

第三,科技创新的空间溢出效应。科技创新的空间溢出能够揭示科技要素作用的空间关系。Arrow 认为,不管创新者采取什么样的保护措施,创新的溢出效应总是存在的^[7](P155-173)。关于科技创新空间溢出效应研究主要集中在创新溢出的效应、创新溢出的空间距离、路径三个方面。其一是创新溢出效应研究。一些学者认为,外商直接投资(FDI)对本地区的科技创新溢出有正面影响^[8](P445-466)^[9](P444-477)^[10](P176-193)^[11](P45-51)^[12](P44-68),但也有学者认为,FDI 对本地企业具有挤出效应,即本地区 FDI 流向的非均衡性会使 FDI 对当地科技创新能力产生负面影响^[13](P51-74)。还有学者认为,FDI 技术外溢效应在短期中显著为正,在长期中不显著^[14](P28-36)。学者 Huang 认为,外商直接投资技术溢出在中国存在显著的创新“双门槛效应”,在创新能力达到第一(较低)门槛值的区域,外商直接投资才能产生正的技术溢出效应,且只有创新能力达到第二(较高)门槛值的区域,这种技术溢出才能得到较为充分的吸收^[15](P583-596)。其二是创新溢出的空间距离研究。Keller 年基于 OECD 成员国的 R&D 支出数据,构建了技术溢出效应随地理距离衰减的函数,考察了成员国之间技术扩散的空间效应,研究结果发现,国与国之间的距离每增加 1200 公里,技术溢出效应强度减少 50%^[16](P120-142);符森采用同样的方法研究了中国省域地理距离和技术外溢效应之间的关系,结果表明技术的密集溢出区集中在一到两个省的范围或者 800 公里以内,而且技术溢出效应强度减半的距离为 1250 公里^[17](P1549-1566)。其三是创新溢出的路径研究。Hoekman 认为,进出口贸易可以促进区域科技创新能力的提高^[18](P1587-1620)。王锐淇发现技术市场活跃度和科技人员保有量等对区域

科技创新能力有显著影响^[19] (P2419-2432); Wang 认为, 跨国外包的三条技术溢出渠道 (进口溢出、出口溢出、纯知识溢出) 中仅有进口溢出效应是显著的^[20] (P44-63); 易锐发现, 技术市场活跃度和科技人员保有量等对区域科技创新能力有显著影响^[21] (P146-152); 祝影等发现外资研发对自主创新既有抑制作用又有促进作用^[22] (P28-36)。

第四, 科技的区域协同创新与制度政策功能。创新本质上就是不同主体、要素、资源之间的融合与相互作用过程, 高效的科技创新应该建立在协同的基础之上。协同的本质是追求增效作用。哈肯认为协同效应是指在复杂大系统内各子系统的同步行为产生出整体效果超越了各要素自身的单独作用效果之和, 从而形成整个系统的统一作用和联系作用, 即产生“ $1+1+X>2$ ”的效果, X 即为协同剩余^[23]。Cooke 在研究“区域合作优势”时发现, 区域科技协同创新中的创新行为主体间合作关系比竞争关系更重要, 且制度环境也会因区域整体利益而发生变化^[24] (P1563-1584)。区域间的科技创新协同过程必然会是在特定的政策和制度背景下发生的, 区域间的科技创新协同会促进制度创新。从本质上说, 区域科技创新是区域间不同要素或资源之间的融合和相互作用。影响区域间科技协同创新的关键因素是资源要素的互补度、知识共享与流动以及制度的规范性三个方面, 因而, 制度与空间分布和要素流动具有同等重要的地位。新古典经济学家认为, 政府可以干预科技创新的方向、规模以及速度, 从而使科技创新朝社会收益最大化的方向发展, 并能够起到平衡社会收益率与私人收益率的作用。余志良认为, 营造创新环境和改善基础设施有利于促进区域创新要素之间的联系, 进而推进科技深度创新。区域创新系统的政府干预及政策制定可以弥补市场失灵和系统失灵产生的系列问题。对于高度异质性的区域性组织, 经济与技术的差异要求政策制定者们进行制度的协同, 通过构建差异化、有特色的制度环境来实现多主体的协同创新^[25] (P32-37)。解学梅等指出, 都市圈协同创新效应的产生取决于都市圈创新要素的耦合及不同创新主体之间协同链接所产生的“外溢效率”, 依赖于圈内技术扩散、知识溢出和信任承诺机制的有效性和圈内良好的制度环境^[26] (P1907-1920)。白俊红和蒋伏心发现, 协同创新过程中政府科技资助、企业与高校的联结以及企业与科研机构的联结对区域创新绩效有显著的正向影响^[27] (P174-187)。

以上文献表明: 第一, 科技创新的空间溢出效应可以为现代区域经济增长提供新型动力, 应该受到关注。第二, 科技创新在空间分布上呈现出高度非均衡性, 且会影响到溢出效应的大小和溢出的方向, 摸清空间分布是研究科技创新空间溢出的基础。第三, 现有文献大多集中于对影响科技创新空间溢出效应的某一单一要素进行研究, 对多要素的综合空间溢出效应解释不足, 对多种要素的空间溢出的贡献大小的比较研究也很少见, 而对多种要素共同作用的空间溢出路径及其作用机理至今更是研究空白。在研究方法上, 现有文献多数采用静态空间面板, 较少引入动态空间面板模型, 对长期的和潜在的影响空间溢出因素的作用机理揭示不足。第四, 高效的科技创新应该建立在协同的基础上, 特定的政策和制度环境会促进区域间的协同创新, 但对如何开展协同没有给出具体的理论依据, 对制定何种制度和如何选择政策工具也尚未进行比较分析。

本文研究思路是: 在长江经济带建设上升为国家战略和实施创新驱动两大背景下, 以提高长江经济带整体经济效率、推动经济带内省域间合作为导向, 以科技创新空间溢出为研究切入点和突破口, 以科技创新的空间分布为逻辑起点, 运用 2000 年至 2013 年长江经济带 11 个省市的面板数据建立静态和动态空间计量模型, 对科技创新空间溢出给出更加深入的解释, 把研究领域从空间溢出效应拓展到溢出路径和空间协同。进而总结出具体的溢出路径, 基于溢出路径从省域空间视角提出推进科技创新的协同的思路和方向, 为长江经济带形成未来的区域科技创新合力提供理论依据和政策建议。

本文主要贡献在于: 其一, 首次沿着空间溢出的效应、路径和协同的逻辑思路对长江经济带的科技创新的空间相关性问题进行空间计量研究, 在空间溢出效应比较与溢出路径识别的基础上提出了空间协同的相关政策建议。其二, 本文把 FDI、R&D 资金投入、R&D 人员、进出口贸易和技术市场等多元指

标纳入统一研究框架,建立了较为全面的空间变量体系。在此基础上,构建了静态和动态空间面板模型,分析比较了单纯的空间地理特征与综合的空间经济特征对长江经济带科技创新的空间溢出差异,增强了模型在对长期的和潜在的影响因素的解释力和预判力,为政策研究提供了更有力的理论依据。其三,通过空间权重与变量的组合来探讨空间溢出的路径。

三、研究思路与设计

(一)研究区域与数据来源

本文选取长江经济带所覆盖的上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 个省市作为研究区域,流域面积约 205 万平方公里,人口和经济总量都超过了全国的 40%。本文数据来源于 2001 年至 2014 年的《中国科技统计年鉴》与《中国统计年鉴》。

(二)空间自相关检验

空间自相关是研究空间溢出效应的前提。经检验发现,2000 年至 2013 年长江经济带各省市专利产出在空间上总体呈现相关性。Moran's $I^{\text{①}}$ 在 2002 年前为负值,不存在空间正相关性,2002 年之后为正值,并逐年上升,表明空间正相关性逐渐增强(见图 1)。长三角地区的科技创新产出明显高于长江中上游地区(见图 2),说明在不同年份存在科技创新活动在局部空间有高高集聚、低低集聚以及高值与低值集聚现象。总之,说明长江经济带整体科技创新活动存在正的空间自相关,且正相关性逐年增强。

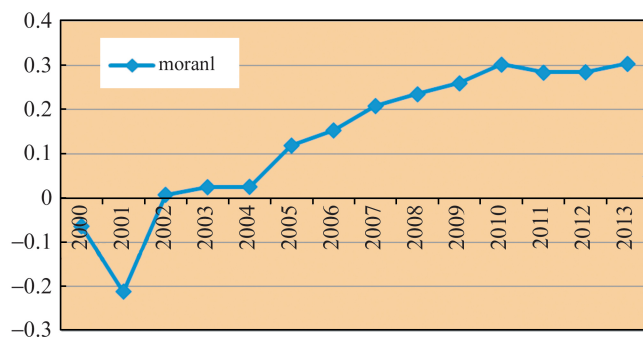


图 1 2000 年至 2013 年长江经济带专利 Moran's I 指数及其变动

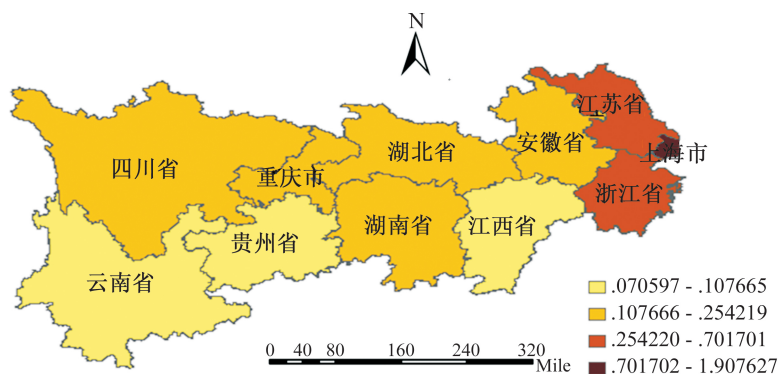


图 2 长江经济带每万人拥有专利数的空间分布图(2000 年到 2013 年的均值)

① 全局 Moran's I 指数的取值范围为-1 到 1 之间,大于 0 表示正相关,值接近 1 时表明强的空间正相关,小于 0 表明负相关,值接近-1 表明强的负相关,接近 0 时表明属性是随机分布。

(三) 空间计量模型构建

由于长江经济带科技创新存在正的空间自相关, 因此建立空间面板模型。笔者沿用 Criliches—Jadffe 知识生产函数来研究长江经济带 R&D 和区域科技创新的空间相关性, 但对原模型做出了改进。

$$Y_{it} = f(K_{it}, L_{it}, TM_{it}, IE_{it}, FDI_{it}, W_g FDI_{it}, W_g L_{it}, W_g IE_{it}, Z_{it}) \quad (1)$$

上式中, Y_{it} 代表第 i 地区第 t 期的科技创新产出; K_{it}, L_{it} 分别代表第 i 地区第 t 期的研发支出和人力资本投入; $TM_{it}, IE_{it}, FDI_{it}$ 分别代表第 i 地区第 t 期的技术市场交易额、进出口贸易额和外商直接投资总额; 考虑到区域科技创新的空间关联性, 选取了溢出效应明显的 FDI_{it}, L_{it} 和 IE_{it} , 并对其用地理权重作加权处理 $W_g FDI_{it}, W_g L_{it}, W_g IE_{it}$; Z_{it} 代表影响科技创新产出的其他社会经济变量。

本文采用双对数法建立空间自回归模型 (公式 2) 和空间误差模型 (公式 3), 然后引入滞后一期的科技创新产出 (Y_{it-1}) 来衡量解释变量之外其他潜在因素所带来的影响, 建立动态空间面板模型 (公式 4) 和 (公式 5)^[28]:

$$SAR : \ln Y_{it} = \beta_0 + \lambda W \ln Y_{it} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln TM_{it} + \beta_4 \ln IE_{it} + \beta_5 \ln FDI_{it} + \beta_6 \ln W_g FDI_{it} + \beta_7 \ln W_g L_{it} + \beta_8 \ln W_g IE_{it} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$SEM : \ln Y_{it} = \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln TM_{it} + \beta_4 \ln IE_{it} + \beta_5 \ln FDI_{it} + \beta_6 \ln W_g FDI_{it} + \beta_7 \ln W_g L_{it} + \beta_8 \ln W_g IE_{it} + \theta_{it} \quad (3)$$

$$\theta_{it} = \rho W \theta_{it} + \epsilon_{it}$$

$$SAR : \ln Y_{it} = \lambda W \ln Y_{it} + \alpha \ln Y_{it-1} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln TM_{it} + \beta_4 \ln IE_{it} + \beta_5 \ln FDI_{it} + \beta_6 \ln W_g FDI_{it} + \beta_7 \ln W_g L_{it} + \beta_8 \ln W_g IE_{it} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

$$SEM : \ln Y_{it} = \lambda W \ln Y_{it} + \alpha \ln Y_{it-1} + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln TM_{it} + \beta_4 \ln IE_{it} + \beta_5 \ln FDI_{it} + \beta_6 \ln W_g FDI_{it} + \beta_7 \ln W_g L_{it} + \beta_8 \ln W_g IE_{it} + \theta_{it} \quad (5)$$

$$\theta_{it} = \rho W \theta_{it} + \epsilon_{it}$$

式中, $Y_{it}, K_{it}, L_{it}, M_{it}, E_{it}, FDI_{it}, W_g FDI_{it}, W_g L_{it}, W_g E_{it}, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T$ 分别代表专利申请授权数、研发资本存量、研发人员、技术市场交易额、进出口贸易额、外商直接投资总额、外商直接投资外溢、研发人员外溢、进出口贸易外溢; $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 分别代表模型的弹性, $\beta_6, \beta_7, \beta_8$ 分别代表变量的空间溢出效应; θ_{it} 和 ϵ_{it} 分别为扰动项, 其中 ϵ_{it} 满足经典假设独立同分布 ($\delta \sim N(0, \delta^2)$); W 和 W_g 为 $N \times N$ 阶空间权重矩阵; λ 衡量了周边地区的科技创新产出的加权和对本地区科技创新的影响程度; ρ 反映的是周边地区影响科技创新产出的不可测因素对该地区科技创新产出的影响程度。

建立了两种模型: (1) 当 $\alpha = 0, \rho = 0, \lambda \neq 0$ 时, 建立考虑区域科技创新活动的空间相关性的静态空间面板模型; (2) 当 $\alpha \neq 0, \rho \neq 0$ 或者 $\lambda \neq 0$ 时, 建立综合考虑空间相关性和时间滞后性的动态空间面板模型。依据 Anselin 等学者的判断原则发现, LMError 和 R-LMError 都通过了显著性检验^[21] (P136-140), LMlag 和 R-LMlag 未通过, 因此文章采用空间误差模型 (SEM) 进行估计。对静态空间面板模型和动态空间面板模型均选择了空间误差模型 (SEM), 依据 Hausman 检验结果, 对静态空间面板采用固定效应估计, 对动态空间面板采用随机效应估计。

(四) 计量模型变量选择

遵循研究惯例将各地区发明专利申请授权数作为该区域科技创新产出变量。地区 R&D 经费支出、地区 R&D 人员投入、技术市场活跃度、FDI、进出口贸易额等作为一般变量。FDI 知识外溢、进出口贸易外溢、R&D 人员知识外溢作为空间溢出变量。

(五)空间权重矩阵构建

构造合适的空间权重矩阵 W 不仅是将空间外部性引入模型的关键,也决定了实证研究中空间溢出效应识别的可能性和科学性。本文将设立多种矩阵来体现区域之间的空间临近关系。

1. 空间关系特征地理权重矩阵。在空间经济学中,距离是衡量区域间运输成本和经济关系的最直观的指标,城市间距离越近,市场互动越强。选取常用的地理距离权重矩阵 W_g 。其中,

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d^2} & \text{如果 } i \neq j \\ 0 & \text{如果 } i = j \end{cases} \quad (6)$$

d 表示两地区省会城市之间的空间距离。

2. 社会经济特征空间权重矩阵。当一个地区的经济实力较强或者一个地区的信息传播量占总量的比重较大时,会对周边地区的空间溢出效应越大。基于此,以物资资本距离和信息传播距离分别建立经济距离空间权重矩阵和信息距离空间权重矩阵。

(1)经济距离空间权重矩阵

$$W_e = W_g \text{diag}(\frac{\bar{Y}_1}{\bar{Y}}, \frac{\bar{Y}_2}{\bar{Y}}, \dots, \frac{\bar{Y}_n}{\bar{Y}}) \quad (7)$$

上式中, $\bar{Y}_i = \frac{1}{t_T - t_0 + 1} \sum_{t=t_0}^{t_T} Y_{it}$, $\bar{Y} = \frac{1}{n(t_T - t_0 + 1)} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^{t_T} Y_{it}$ 。 W_d 为地理距离空间权重矩阵,对于区域科技创新活动,绝大多数会集中在省会城市或者中心城市,因此在建立经济特征的空间权重矩阵时,考虑了地理距离因素。 $\bar{Y}_i$ 为考察期内第 i 省的物质资本存量均值, $\bar{Y}$ 为考察期内总物质资本存量均值, t 为不同时期。对于物质资本存量的计算,仍然采用永续盘存法。

(2)信息距离空间权重矩阵

$$W_i = W_g \text{diag}(\frac{\bar{I}_1}{\bar{I}}, \frac{\bar{I}_2}{\bar{I}}, \dots, \frac{\bar{I}_n}{\bar{I}}) \quad (8)$$

上式中, W_d 为地理距离空间权重矩阵, $\bar{I}_i$ 为考察期内第 i 省的信息传播量均值, $\bar{I}$ 为考察期内总信息传播量均值, t 为不同时期。笔者用各省市的邮电业务量来衡量信息传播量,产出变量、传统变量与空间变量及空间权重矩阵的符号及其定义见表 1。

表 1 变量说明

变量	指标	符号	定义
产出变量	专利(件)	Y_{it}	发明专利申请授权数
一般变量	$R\&D$ 资本存量	K_{it}	采用永续盘存法
	$R\&D$ 人员全时当量	L_{it}	报告年内 $R\&D$ 全时人员数与非全时人员按工作时折算成全时人员数的总和
	外商直接投资总额	FDI_{it}	各省市外商直接投资总额
	技术市场交易额	TM_{it}	各地区技术市场成交合同金额
	进出口贸易额	IE_{it}	各地区货物进出口贸易总额
空间变量	FDI 知识外溢	$W_g FDI_{it}$	本地区与周边地区的 FDI 值的加权和
	进出口贸易外溢	$W_g IE_{it}$	本地区与周边地区的进出口贸易额的加权和
	$R\&D$ 人员知识外溢	$W_g L_{it}$	本地区与周边地区的 $R\&D$ 人员的加权和
空间关系特征权重	地理距离权重	W_g	矩阵元素为两地区中心距离平方的倒数
社会经济特征权重	经济距离权重	W_e	矩阵元素为两地区距离平方的倒数与其物质资本存量所占总量比重的乘积
	信息距离权重	W_i	矩阵元素为两地区中心距离平方的倒数与其邮电业务量所占总量比重的乘积

四、空间溢出的检验结果、路径识别与协同分析

(一)静态空间面板模型估计

根据空间关系特征和社会经济特征所设置的空间权重矩阵建立的空间误差模型 (SEM) 的估计结果见表 2、表 3 和表 4。根据估计结果可知,空间溢出系数 ρ 只在地区固定效应都通过显著性检验,说

表 2 空间关系特征地理权重 SEM 模型(SW_g 模型)

变量	地区固定	T 值	时间固定	T 值	地区时间双固定	T 值
lnK	0.8291***	5.141	0.6763***	6.3846	1.2667 ***	5.6359
lnL	0.1262	1.2498	0.1135	1.0508	0.1446	1.4935
lnTM	-0.0177	-0.5091	0.052	1.6001	-0.0009	-0.0263
lnIE	0.0472	0.4031	0.4605***	5.5684	0.0163	0.1467
lnFDI	0.0888	0.5707	-0.4545***	-4.0067	0.1684	1.2081
$lnW_g FDI$	-0.2445***	-4.4475	-0.1299	-0.3127	0.5457	1.4069
$lnW_g L$	0.5084**	2.7058	0.0812	0.4668	0.8367***	4.7478
$lnW_g IE$	0.2013	0.6932	-0.0701	-0.1888	0.2614	0.7383
ρ	0.4929***	6.5637	0.1399	1.3812	-0.1279	-1.1587

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

表 3 经济距离空间权重 SEM 模型(SW_e 模型)

变量	地区固定	T 值	时间固定	T 值	地区时间双固定	T 值
lnK	0.8567***	5.3754	0.6741***	6.4743	1.2650***	5.6715
lnL	0.1091	1.0806	0.1085	1.0104	0.1461	1.5148
lnTM	-0.0108	-0.3094	0.0548	1.6915	-0.0038	-0.1122
lnIE	0.0303	0.2634	0.4618***	5.6239	0.017	0.1542
lnFDI	0.0843	0.5446	-0.4592***	-4.0381	0.1677	1.2042
$lnW_e FDI$	-0.2875***	-4.8682	-0.1505	-0.3657	0.5549**	1.413
$lnW_e L$	0.5105**	2.7307	0.0758	0.4335	0.8348***	4.6419
$lnW_e IE$	0.1179	0.411	-0.0477	-0.1296	0.2614	0.7275
ρ	0.5339***	7.63	0.1899	1.8963	-0.0759	-0.681839

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

表 4 信息距离空间权重 SEM 模型(SW_i 模型)

变量	地区固定	T 值	时间固定	T 值	地区时间双固定	T 值
lnK	0.8467 ***	5.3118	0.6708***	6.4332	1.2670***	5.6786
lnL	0.1145	1.1362	0.1118	1.0382	0.1458	1.5104
lnTM	-0.0114	-0.3285	0.0555	1.7125	-0.0037	-0.1082
lnIE	0.0292	0.2537	0.4637***	5.6399	0.0183	0.1653
lnFDI	0.0909	0.5848	-0.4611 ***	-4.0507	0.1661	1.1932
$lnW_i FDI$	-0.3652***	-5.058	-0.1462	-0.3546	0.5575	1.4219
$lnW_i L$	0.5038**	2.7219	0.0701	0.4002	0.8356***	4.6496
$lnW_i IE$	0.1576	0.5468	-0.0494	-0.1338	0.2605	0.7263
ρ	0.5339***	7.6221	0.1839	1.8411	-0.0819	-0.7405

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

明存在科技创新的区域结构性差异,因此本文主要围绕地区固定效应展开讨论。如果不考虑空间因素的影响,仅有 R&D 资金投入对本地区的科技创新影响显著。如果考虑空间因素的影响,其他省市 FDI 投入对本地区的科技创新影响显著为负;周边地区进出口贸易总额对本地区的科技创新影响不显著;周边地区的 R&D 人员对本地区科技创新影响显著为正。

(二)动态空间面板模型估计

考虑到静态空间面板模型可能忽略了解释变量之外的其他因素对区域科技创新产出的影响,引入滞后一期的创新产出代替潜在因素,充分考虑创新活动的空间滞后和时间滞后效应,采用 W_g 、 W_e 和 W_i 三种空间权重,构建 DW_g 、 DW_e 和 DW_i 三种动态空间面板模型。区域科技创新动态空间面板模型的估计结果见表 5。由表 5 可知, DW_g 、 DW_e 和 DW_i 三种模型中空间相关系数分别为 0.6360, 0.6623,

表 5 动态空间面板模型(SEM)

变量	DW _g 模型	T 值	DW _e 模型	T 值	DW _i 模型	T 值
intercept	1.6292	1.6438	1.6076	1.6106	1.6693	
lnY(-1)	0.7663***	15.8933	0.7619***	15.7569	0.7526***	6.6873
lnK	0.2759***	-1.5769	0.2533***	3.6969	0.5079***	3.6207
lnL	-0.1064	-1.6805	-0.1031	-1.4997	-0.1168	-2.1438
lnTM	0.0184	0.9701	0.0176	0.8659	0.0166	0.7475
lnIE	0.0915	1.5127	0.0784	1.2463	0.0713	0.0917
lnFDI	-0.0991	-1.3694	-0.0806	-1.2068	-0.0834	1.2427
lnW _g FDI	-0.1477**	-3.126	-0.1597***	-3.3007	-0.1951***	-3.3426
lnW _g L	-0.0283	-0.2627	0.0054	0.0497	0.009	-0.0651
lnW _g IE	0.1038	0.5696	0.043	0.2409	0.027	2.4912
ρ	0.6360 ***	10.9862	0.6623***	13.6409	0.6665***	4.4574

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

0.6665,都显著为正, W_e 和 W_i 的空间相关系数 ρ 相对静态空间面板而言有所提高,其中信息传播距离比经济距离对科技创新产出的空间影响稍大一些,一般变量和空间变量的估计结果符号与静态空间面板不一致:在一般变量中,R&D 人员不显著为负值,技术市场不显著为正值。在空间变量中, $W_g FDI$ 和 $W_g IE$ 的系数均与静态空间面板模型的符号一致,R&D 人员 $W_g L$ 的估计结果与静态空间面板不一致。这说明静态空间面板模型确实忽略了解释变量之外的其他影响区域科技创新产出的潜在因素,滞后一期的科技创新产出变量系数在三个动态模型中的估计结果分别为 0.7663, 0.7619, 0.7526,都在 0.1% 的水平下显著,这进一步说明社会制度、人文环境、自然环境等潜在因素对区域科技创新产出有显著的正向影响。

(三)整体空间溢出效应分析

通过对以上 6 种模型进行检验可知,长江经济带整体表现出科技创新的空间溢出,且空间溢出与解释变量的选择、空间权重的选择和考察溢出效应的时间周期有关,其整体溢出效应情况见表 6。由表

表 6 整体空间溢出效应比较

空间权重	短期(ρ)	长期(ρ)
W_g	0.4929***	0.6360 ***
W_e	0.5339***	0.6623***
W_i	0.5339***	0.6665***

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

6 可知,空间溢出系数 ρ 的在三种权重矩阵下的估计结果都显著为正,这说明科技创新产出存在明显的空间正相关性,即整个长江经济带科技创新存在空间溢出效应。不同空间权重对整体溢出效应有影响。首先,从 ρ 值大小来看,空间关系特征和社会经济特征对区域科技创新的溢出效应有显著的正的效应,并且社会经济关系特征的影响明显偏大。其中,地理距离权重模型的估计结果是地区固定效应显著为正,说明在长江经济带的各个省市,科技的溢出效应受到地理空间限制,随着地理距离的增加溢出效应衰减;经济距离权重模型估计结果也是地区固定效应显著为正,它说明经济发展水平较高的地区之间科技创新活动具有相互促进的影响,一个地区的经济发展水平越高,创新资源就更容易向该地区流动,知

识也就容易发生溢出效应,进而形成科技创新活动的空间集聚;信息距离权重模型估计结果的地区固定效应和时间固定效应都显著为正,说明在长江经济带的各个省市随着信息时代的发展,互联网在一定程度上已经打破地域的限制,在知识的空间溢出效应中有正的影响。其次,长期与短期存在空间溢出效应差异。随着时间的推移,从长期来看,信息传播距离比经济距离对科技创新空间溢出效应稍大一些,说明在静态空间面板模型中,除了解释变量之外,还有其他不可测的潜在因素对区域科技创新空间溢出有影响。

(四)空间溢出的路径识别及比较分析

通过以上模型的检验结果可以得出:长江经济带科技创新存在空间溢出效应,各类变量之间的空间溢出效应存在差异,且空间溢出也会受时间因素影响。揭示科技创新的空间溢出过程对丰富空间溢出理论尤为重要,空间溢出的路径识别成为把握溢出规律的关键所在。空间溢出路径是指从溢出起点到溢出终点的连续曲线,是溢出的通道,可能是由平滑点组成,也可能是由角点组成。溢出路径信息可能隐藏在数据的背后,本文建立三类空间权重矩阵,每一类空间权重矩阵意味着空间溢出的一种网络通道,从短期和长期的视角构建两类模型,更换空间权重,进行数据挖掘分析,认为通道与变量有密切关系。因此,空间溢出路径的识别关键在于起点(解释变量的选择)、通道(空间权重的选择)和终点(溢出效应大小)。可以将溢出路径总结为以下几点。

第一,以 FDI 为溢出起点,以不同空间权重为通道的空间溢出路径及溢出效应差异分析。FDI 的溢出效应对长江经济带不同省域科技创新的影响具有区域差异性。每个省市引入的 FDI 对本省科技创新短期内为正效应,但效应不明显,而长期却表现出负效应,说明 FDI 引入在省域内存在同构化和低端化,从而导致企业间恶性竞争,以至于产生相互挤出效应。同时,FDI 的科技创新溢出是有条件的,存在技术差距门槛和人力资本门槛。对本省而言,“门槛效应”成为制约 FDI 技术溢出主要原因。从空间视角来看,在地理距离、经济距离和信息距离三种权重下,周边地区 FDI 的投资对本地的空间溢出效应均为负,说明周边 FDI 的引入对本地区并未实现空间正向溢出,而表现为一种“负外溢”。无论是在短期还是长期,以地理距离、经济距离和信息距离权重为通道的空间溢出效应递减,绝对值逐渐加大,说明信息距离对空间溢出效应影响最大,其次是经济距离,最后是地理距离,因而,信息化水平是产生 FDI 挤出效应的重要因素。省域间产业结构出现趋同,FDI 的引入在省域间存在严重同构,加剧了 FDI 引入的恶性竞争,可能产生对本地优秀技术人才的虹吸效应,从而造成本地的研发率下降。无论选择哪一类空间矩阵,周边对本地区空间溢出效应都很显著,且长期和短期之间表现出明显的差异,短期的空间溢出负效应大于长期的空间溢出负效应,说明 FDI 的投入在短期内空间溢出的负效应相对明显,因而在政策引导过程中需要采用优化通道的政策工具来扩大空间溢出效应。

表 7 FDI 的空间溢出路径与效应差异比较

空间权重	本地投入的科技创新效应		周边对本地的空间溢出效应	
	短期	长期	短期	长期
Wg	0.0888	-0.0991	-0.2445***	-0.1477**
We	0.0843	-0.0806	-0.2875***	-0.1597***
Wi	0.0909	-0.0834	-0.3652***	-0.1951***

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

第二,以 R&D 人员为溢出起点,以空间权重为通道的空间溢出路径及溢出效应差异分析。R&D 人员的增加是科技创新产出增长的重要因素,以往的研究都已证明了这一结论。从长江经济带省域 R&D 人员投入来看,短期内对本地科技创新具有正效应,但长期却存在负效应,总体效应都不明显,说明 R&D 人员投入与省域科技创新可能存在倒 U 型关系,并可能接近于顶点,需要提升 R&D 人员掌握核

心技术的能力。从空间视角来看,在短期中,周边地区 R&D 人员投入对本地的空间溢出效应均为正,以经济距离、地理距离和信息距离权重为通道的空间溢出效应呈现递减趋势,说明经济距离对空间溢出效应影响最大,其次是地理距离,最后为信息距离。这说明经济发展水平较高的地区更容易吸引周边地区的科技人员,可能产生研发人员集聚现象,这种集聚无疑会产生正向的空间溢出效应,因而,提升经济发展水平,可以优化经济地理空间权重,进而可以扩大空间溢出效应。但是对于长期而言,周边地区对本地的空间溢出效应并不显著,说明过度的 R&D 人员集聚也可能会出现人浮于事和创新效率低下。我们应该从单纯关注 R&D 人员数量增长转向关注 R&D 人员的素质提高和 R&D 组织方式的变革。

表 8 R&D 人员(L)的空间溢出路径与效应差异比较

空间权重	本地投入的科技创新效应		周边对本地的空间溢出效应	
	短期	长期	短期	长期
Wg	0.1262	-0.1064	0.5084**	-0.0283
We	0.1091	-0.1031	0.5105**	0.0054
Wi	0.1145	-0.1168	0.5038**	0.009

注:显著性水平:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

第三,以进出口贸易为起点,以空间权重为渠道的空间溢出路径及其溢出效应差异分析。进出口贸易对科技创新影响的作用机理是进出口贸易增长可以增加就业机会,提升人力资本,进而影响到科技创新产出,所以表现出一定的滞后性。进出口贸易对提升科技创新还存在显著的区域差异性。根据表 9 可以看出:对长江经济带而言,无论是短期还是长期,本地区进出口贸易的空间外溢效应非常小,对本地区科技创新的促进作用并不大。这可能由于长江经济带各省市的产业结构多以出口加工型企业为主,技术创造性和拥有核心技术的企业相对来说所占比例不够高,因此,进出口贸易对本地的科技创新产出没有产生显著的影响。就空间溢出而言,在地理距离、经济距离和信息距离三种权重下,周边地区进出口贸易对本地区的空间溢出效应不显著。由于长江经济带各省市均拥有相对独立且比较完善的对外贸易政策,各省市之间进出口贸易各自为政,虽然可以在本地区内实现有效的内部循环,但存在区域间进出口贸易的产品同构和过度竞争现象,空间溢出不显著,因而整个长江经济带的进出口贸易对科技创新的效能还未发挥。

表 9 进出口贸易(IE)的空间溢出路径与效应差异比较

空间权重	本地投入的科技创新效应		周边对本地的空间溢出效应	
	短期	长期	短期	长期
Wg	0.0472	0.0915	0.2013	0.1038
We	0.0303	0.0784	0.1179	0.043
Wi	0.0292	0.0713	0.1576	0.027

第四,以技术市场为起点,以空间权重为渠道的空间溢出路径及其溢出效应差异分析。市场需求信息可以明确对产品和科技创新的要求,能为科技创新提供方向。需求和渠道是市场轨道形成的两大驱动因素,新顾客的挖掘和新偏好的演化会产生新的需求,新渠道的建立和新渠道模式的出现可能会建立新的市场体系,需求和渠道会共同促进新的市场轨道的形成。科技创新在某种意义上是为了满足新需求,因而,技术市场运作轨道可以对科技创新轨道产生形塑作用。根据表 10 得出:在地理空间、经济距离和信息距离三种权重下,无论是短期还是长期,技术市场在交易过程中均未产生溢出效应,这说明由于科技市场建设不够完善,对科技创新还未发挥应有的作用,省市间协同效应也并未彰显。模型中空间权重对溢出效应的影响不明显,差异不大,主要是由于科技市场不发达引起的。

表 10 技术市场(TM)的空间溢出路径与效应差异比较

空间权重	短期	长期
Wg	-0.0177	0.0184
We	-0.0108	0.0176
Wi	-0.0114	0.0166

第五,其他潜在的空间溢出路径分析。模型检验结果,滞后一期的科技创新产出变量 Y_{t-1} 的系数显著为正,这说明随着时间的推移,长期中社会制度、人文环境、自然环境等解释变量之外的其他潜在因素的确会影响长江经济带地区科技创新产出。这些潜在因素也会影响到科技创新空间溢出的渠道。通过制度创新来挖掘潜在因素对空间溢出的促进作用也是有效的政策选择。

(五)省域间科技创新空间溢出的协同放大分析

科技创新协同网络是基于特定的科技发展目标,政府、大学、企业、科研机构、中介组织等多维主体在凝聚共识、分工互动、集体合作、共同促进科技创新发展的过程中所形成的有机体系及其运行模式,其具体的构成要素包括战略抉择系统、政策保障系统和主体支持系统。由于科技创新数据的原因,我们把协同的主体也仅限于地方政府。根据上文对模型空间溢出的效应测度和路径分析,可以得出通过长江经济带省域间协同来放大空间溢出的结论与启示。

第一,达成问题共识,形成协同战略,开展网络协同。科技创新是长江经济带经济增长的内生变量,将会对长江经济带的发展起到重要引导和推动作用。省域间首先需要理清针对哪些问题开展科技协同创新,为科技协同创新提供具体方向,这是开展科技协同创新的基础和具体内容。区域间需要在科技危机意识下进行共同的环境辨识,立足国际国内环境,发现危机点或竞争点,共同提炼出系列科技瓶颈问题,形成问题网络,进一步达成共识,最终形成协同战略。在协同战略的指导下,各省域以问题网络节点为出发点,以技术链、知识链和产业链为纽带,开展科技创新的分工与协作,最终实现科技创新网络的贯通与融合。以共同制定协同战略为协同开端,针对科技创新问题网络节点,分阶段制定科技创新协同框架计划,使得从战略高度有组织地推进长江经济带科技创新协同,既能发挥经济带地理空间关系的正向溢出作用,同时又能够避免未来经济带区域间的科技结构性矛盾。

第二,协同推进制度改革,合理选择政策工具,实施政策一体化。自动“外溢”的效率远远低于有引导、有组织的“外溢”,协同创新是扩大空间溢出效应的有效组织形式,政策一体化对促进外溢和实现有效协同意义重大。各级政府可以利用其影响力、号召力和行政权力推进科技创新的协同。制度改革与政策工具是推进长江经济带科技创新协同的必然选择。有组织地推进创新系统的变革,需要理顺科技创新的各类体制机制,进行顶层设计,落实科技创新的准公共品制度,建立跨区域的科技创新公共机构和补充性的中介机构。为达到既定政策目标,共同协商选择政策工具,实现有组织地开展集体行动。根据本文模型所选的变量和路径分析可知,沿着科技创新溢出路径推进各类科技制度协同可以增加空间溢出。在政策一体化的策略下共同推进制度建设,充分发挥各类协同主体之间的合作,不断促进要素与资源的流动、融合与相互作用,协同发挥差异化优势。建议采取的共同政策工具有:从供给侧入手,共同制定财税补贴、专项基金、示范项目、金融支持等系列一体化政策;增加 R&D 资金投入力度,利用各省域优势联合培养研发人员,改善科技创新的劳动力供给;优化 FDI 引进结构,加大进出口贸易力度,扩大空间溢出正效应;协同规划增加省市间科技资源与科技要素的互补性,突出差异化;推进相关立法,从宏观、中观、微观三个层面推进相关立法,逐步完善科技协同创新的政策保障系统。

第三,达成完善基础设施建设共识,充分利用新技术协同优化科技创新的网络通道。根据以上模型检验结果比较,空间权重的选择对科技创新空间溢出效应有重要影响。经济距离权重和信息距离权重都对科技创新空间溢出有影响,且信息距离权重的影响更大,说明以基础设施为基础的网络通道将会产生

空间溢出放大甚至倍增效应,改善基础设施是扩大空间溢出效应的有效手段。基础设施建设是科技创新供给侧政策的互补性因素,可以避免技术供给的瓶颈,降低投入成本,便于大规模商业化,因而,合适的互补可以与供给侧政策密切配合,使整个科技创新系统的功能放大。在当前,除了改善交通运输和公共服务等传统基础设施外,还要从大数据、云计算、平台经济和移动互联网等新型软基础设施建设入手,改善科技创新网络通道,从而更大程度地为需求侧的信息扩散、创新型劳动力供给和改善技术获取路径等提供便利。各省域经济水平的共同提升也是提高科技创新空间溢出的重要途径。建议长江经济带各省域间通过优化科技创新网络通道来构建协同创新体系和协同创新网络,实现整体性推进制度变迁。

第四,构建统一的科技市场体系。长江经济带建设的理论基础是依靠流量经济来促进正向外溢。科技要素的流动能创造出不可估量的经济效益。以协同科技创新促进科技要素流动是长江经济带建设的有效路径选择。科技要素流动的基础是构建统一的高度发达的科技市场。根据本文模型可知,当前长江经济带存在着科技资源配置效率低、科技投入不足、科技市场发展滞后、科技成果转化率低等问题,这些很大程度上是由于科技市场不发达引起的。构建统一的科技市场体系成为长江经济带科技创新协同发展的必然要求。科技市场可以为需求侧提供科技创新的竞争平台,有利于信息扩散,进而促进科技资源充分有效竞争。政府也可以借助于科技市场这一平台采取技术应用补贴政策来引导技术扩散,加速科技成果转化。另外,统一的科技市场有助于解决科技结构性矛盾,优化长江经济带科技投资,增加科技市场交易的活跃度等,进而增加空间的溢出正效应。

第五,充分发挥其他潜在因素的协同作用。社会制度、人文环境、自然环境等其他的环境因素对区域科技创新的空间溢出有正向影响。这些方面都是制度挖潜的方向。科技资源需要在整个长江经济带进行合理的空间布局,强化顶层设计,充分发挥区域优势,突出科技创新中心建设,依托市场机制,避免重复投资,增强空间互动,拓宽空间溢出路径,激发空间溢出效应,探索科技创新区域一体化发展模式,共同打造长期稳定、相互信任、文化相容、合作共赢的协同文化氛围。

五、结论与展望

通过构建静态与动态空间面板计量模型,从空间关系特征和社会经济特征两个视角对比考察了区域科技创新产出的空间溢出效应与路径。研究发现:第一,在科技创新总体的空间溢出中,空间关系特征和社会经济特征对区域科技创新的溢出效应有显著的正效应,并且社会经济关系特征的影响明显偏大。社会经济特征中,信息传播距离在长期中比经济距离对创新活动的空间影响更显著。第二,在科技创新具体的空间溢出路径中,不论是长期还是短期,本地区除了 R&D 资金投入对科技创新产生显著的促进作用之外,FDI、R&D 人员、进出口贸易、技术市场交易产生的知识外溢均对科技创新的影响不显著。从空间视角来看:周边地区 FDI 产生的空间外溢在短期和长期中对科技创新有显著的负效应,以信息距离为权重产生的空间溢出效应最大,经济距离次之,地理距离最弱;周边地区 R&D 人员产生的空间外溢在短期中对科技创新有显著的正效应,在长期中不显著,以经济距离为权重产生的空间溢出效应最大,地理距离次之,信息距离最弱;周边地区的进出口贸易活动产生的空间外溢在短期和长期中对科技创新效果均不显著。第三,社会制度、人文环境、自然环境等潜在因素对区域科技创新产出有显著的正向影响。基于上述空间溢出路径,本文从省域视角提出空间协同的相关政策建议。研究认为,达成问题共识是科技创新协同的前提;形成协同战略是放大溢出效应的起点;优化创新网络通道是科技创新协同的基础;合理选定政策工具是高效协同的制度保障;构建统一的科技市场体系是实现协同的基础环境;充分发挥其他潜在因素对协同的促进作用是拓展协同的长远追求。研究局限性在于:由于样本数据受限,研究区域仅限于长江经济带省域空间尺度。未来的研究还可以考虑将更多的协同主体纳入空间研究框架。

参考文献

- [1] Griliches Z. R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues. *Science*, 1987, 237(4810).
- [2] Arbia G. Spatial Econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Convergence. *Papers in Regional Science*, 2006, 47(3).
- [3] Guastella G, Oort F. G. V. Regional Heterogeneity and Interregional Research Spillovers in European Innovation: Modelling and Policy Implications. *Regional Studies*, 2015, 49 (11).
- [4] Moreno R, Paci R, Usai S. Spatial Spillovers and Innovation Activity in European Regions. *Social Science Electronic Publishing*, 2004, 37(10).
- [5] Lim U. The Spatial Distribution of Innovative Activity in U.S. Metropolitan Areas: Evidence from Patent Data. *The Journal of Regional Analysis and Policy*, 2003, 33 (2).
- [6] 魏守华, 嵇金吉, 何娜. 区域创新能力的空间分布与变化趋势. *科研管理*, 2011, (4).
- [7] Arrow K. The Economic Implication of Learning by Doing. *Review of Economic Studies*, 1962, 29(3).
- [8] Sinani E, Meyer K. E. Spillovers of Technology Transfer from FDI: The Case of Estonia. *Journal of Comparative Economics*, 2004, 32(3).
- [9] Kugler M. Spillovers from Foreign Direct Investment: Within or between Industries? *Journal of Development Economics*, 2006, 80(2).
- [10] Liu Z. Q. Foreign Direct Investment and Technology Spillovers: Theory and Evidence. *Journal of Development Economics*, 2008, 85(1).
- [11] 薄文广, 马先标, 冼国明. 外国直接投资对于中国技术创新作用的影响分析. *中国软科学*, 2005, (11).
- [12] 陈劲, 陈钰芬, 余芳珍. FDI 对促进我国区域创新能力的影响. *科研管理*, 2007, (1).
- [13] Haddad M, Harrison A. Are There Positive Spillovers from Direct Foreign Investment? Evidence from Panel Data for Morocco. *Journal of Development Economics*, 1993, 42(2).
- [14] 刘和东. 区域创新内溢、外溢与空间溢出效应的实证研究. *科研管理*, 2013, (1).
- [15] Huang L, Liu X. Regional Innovation and Spillover Effects of Foreign Direct Investment in China: A Threshold Approach. *Regional Studies*, 2012, 46(5).
- [16] Keller W. Geographic Localization of International Technology Diffusion. *American Economic Review*, 2002, 92(1).
- [17] 符森. 地理距离和技术外溢效应——对技术和经济集聚现象的空间计量学解释. *经济学*, 2009, (4).
- [18] Hoekman B. M, Maskus K, Saggi K. Transfer of Technology to Developing Countries: Unilateral and Multilateral Policy Options. *World Development*, 2005, 33(10).
- [19] 王锐淇. 我国区域技术创新能力空间相关性及其扩散效应实证分析——基于 1997-2008 年空间面板数据. *系统工程理论与实践*, 2012, 32 (11).
- [20] Wang. Technology Spillovers in the Multinational Outsourcing System and Technological Innovation in Recipient Countries. *Social Sciences in China*, 2014, 32 (2).
- [21] 易锐. 我国大学知识创新溢出效应与路径机制研究. *科技进步与对策*, 2014, 31(5).
- [22] 祝影, 孙锐, 翟峰. 外资研发如何影响自主创新?——基于外资研发溢出路径的模型与实证. *科研管理*, 2016, 37(12).
- [23] H. 哈肯. 协同学引论. 徐锡申等译. 北京: 原子能出版社, 1984.
- [24] Cooke P, Uranga M. G, Etxebarria G. Regional Systems of Innovation: An Evolutionary Perspective. *Environment and Planning Analysis*, 1998, 30(9).
- [25] 余志良, 谢洪明. 技术创新政策理论的研究评述. *科学管理研究*, 2003, (6).
- [26] 解学梅. 协同创新效应运行机理研究: 一个都市圈视角. *科学学研究*, 2013, 31(12).
- [27] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效. *经济研究*, 2015, (7).
- [28] 詹姆斯·勒沙杰, 凯利·佩斯. 空间计量经济学导论. 肖光恩译. 北京: 北京大学出版社, 2014.
- [29] 湛泳, 李珊. 金融发展、科技创新与智慧城市建设——基于信息化发展视角的分析. *财经研究*, 2016, (2).

Spatial Spillover of Regional Technological Innovation in the Yangtze River Economic Belt

Effect Calculation, Path Recognition and Synergy Enlargement

Bai Yongliang (China University of Geoscience in Wuhan)

Shi Lei (Hunan University)

Abstract The spatial spillover of technological innovation is of great value for the Yangtze River Economic Belt (YREB) to accelerate the change of growth mode, promote the adjustment of industrial structure, explore the interactive cooperation between the East and the West and to enhance the economic development efficiency. By using static and dynamic space panel econometric models, this paper introduces spatial relationship characteristics and social-economic characteristics of two kinds of spatial matrices compares and analyses the spatial spillover effect of technological innovation output in 11 provinces and cities of the YREB in year 2000 to 2013, and discusses the overflow path and coordination strategy among the provinces. It has been found that the spatial relationship and social-economic characteristics have significant positive effects on the spatial spillover of innovation output, but the social-economic characteristics have a greater impact. In contrast, information transmission distance has more significant impact on innovation activities than economic distance in the long term. There is also a difference in the spatial spillover effect of selection variables: the spatial spillover effect of FDI is negative both in short and long term. Spatial spillover effect of R&D personnel is positive in the short term, but not in the long term. External environment has a significant positive effect on the spatial spillover of regional technological innovation. Based on our findings, the paper proposes some policy suggestions on spatial synergy of regional technological innovation. Finally, policy suggestions are put forward on how to promote the spatial synergy of regional technological innovation. The first and foremost is to reach consensus on issues and to carry out network coordination. Then we should work together to advance institutional reform and choose policy tools appropriately and implement policy integration. Meanwhile we should optimize the network channels of collaborative innovation and build a unified technology market system.

Key words Yangtze River Economic Belt; technological innovation; spatial spillover effects; regional synergy; spatial weight; spatial weight based on economics distance; spatial weight based on information distance; FDI

■ 收稿日期 2018-03-27

■ 作者简介 白永亮, 经济学博士, 中国地质大学(武汉)经济管理学院教授; 湖北 武汉 430074。
石磊, 湖南大学经济与贸易学院博士生; 湖南 长沙 410006。

■ 责任编辑 肖光恩