

doi:10.3969/j.issn.1001-4616.2025.02.001

# 城市科技人才流动水平的测算及其 对绿色全要素生产率的影响研究

——基于空间回归模型

刘诗昆, 姚奕

(南京师范大学数学科学学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 基于熵权法对引力模型进行修正, 定义并测算了中国 2003—2019 年 283 个地级及以上城市科技人才流动水平, 并结合空间误差模型和多尺度地理加权回归模型分析中国城市科技人才流动水平对绿色全要素生产率的全局和局部影响。结果表明: 城市间的科技人才流动总水平逐步提高, 大城市的科技人才虹吸现象愈发明显, 表现出两极化趋势; 整体上, 科技人才流动水平对绿色全要素生产率的影响表现为边际效应递减的促进作用; 区域视角中, 局部效应的空间差异不断增强, 逐渐形成了“南强北弱”的分布特征, 科技人才流动在中西部部分城市对绿色全要素生产率产生了负面影响。

[关键词] 绿色全要素生产率, 科技人才流动, 引力模型, 空间误差模型, 地理加权回归

[中图分类号] O213 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2025)02-0001-09

## Measurement of City's Science and Technology Talent Flow and Its Impact on Green Total Factor Productivity: Based on Spatial Regression Model

Liu Shikun, Yao Yi

(School of Mathematical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** This paper revises the gravity model based on the entropy weight method, defines and calculates the flow level of science and technology talents in 283 Chinese cities from 2003 to 2019. Also, the multi-scale geographical weighted regression model is combined with the spatial error model to analyze the global and local impact of the flow level of science and technology talents in Chinese cities on green total factor productivity. The findings indicate the flow level of science and technology talents between cities has gradually increased, and the siphon phenomenon of scientific and technological talents in big cities has become more obvious, showing a trend of polarization. On the whole, the influence of the flow level of science and technology talents on the green total factor productivity is the promotion effect of diminishing marginal effect. From a regional perspective, the spatial differences of local effects are increasing, gradually forming a distribution feature of "strong in the south and weak in the north". The flow level of science and technology talents has a negative impact on green total factor productivity in some cities in the central and western regions.

**Key words:** green total factor productivity, flow of scientific and technological talents, gravity model, spatial error model, geographical weighted regression

党的二十大将高质量发展作为全面建设社会主义现代化国家的首要任务, 强调持续优化经济结构、努力建设美丽中国。绿色全要素生产率(Green Total Factor Productivity, GTFP)在衡量经济效率基础上引入能源、污染等要素, 反映在可持续发展理念下的经济发展质量。随着新一轮科技革命的到来, 中国处在步入高质量发展阶段的关键时期, 面临人口红利消失、生产要素边际报酬降低等问题<sup>[1]</sup>, 实现高质量发展必须推动经济发展模式从“要素驱动”向“创新驱动”转变。科技人才是创新的核心动力, 截止 2022 年, 中国研

收稿日期: 2024-04-18.

基金项目: 国家社科基金项目(21BTJ044).

通讯作者: 姚奕, 博士, 副教授, 研究方向: 应用统计学. E-mail: 05302@njnu.edu.cn

发人员总量已超 600 万. 中国区域间经济、科技以及资源发展的不均衡,尤其是近年来地区间愈演愈烈的“人才争夺战”,加剧了地区间人才资源的不均衡配置.

围绕科技人才的空间分布和影响,研究者们取得了丰硕的成果. 霍丽霞等<sup>[2]</sup>利用区位商模型分析中国 31 个省市的科技人才集聚程度,指出中国科技人才分布具有非均衡性特征. 黄海刚等<sup>[3]</sup>追踪了中国杰青和长江学者的流动情况,指出中国逐渐形成了东南部的人才环流,且高端科技人才有逐渐从科研机构向高校转移的趋势. 李婧等<sup>[4]</sup>利用修正引力模型对中国 2007—2014 年的省际科技人才流动情况进行估算,在基于普查数据验证测算结果的有效性的同时,指出中国科技人才的流动的总量和空间差异都随时间不断提高,科技人才的流入效应整体上要高于流出效应. 科技人才的聚集能够形成集聚效应,探索集聚效应对经济发展的影响也是研究者们关注的热点. 孙成等<sup>[5]</sup>指出区域科技人才的创新能力与经济发展之间存在耦合协调性,发挥科技人才的创新驱动作用有助于推动经济的转型升级. 蒋正明等<sup>[6]</sup>采用 ARMA 模型证明了科技人才对经济增长起显著的促进作用,且贡献率总体随时间呈现上升趋势. He<sup>[7]</sup>基于河南省 14 个市的面板数据,证实了科技人才集聚有利于地区经济发展质量的提高. 郭金花等<sup>[8]</sup>采用区位商模型和随机前沿方法揭示了中国城市科技人才集聚与绿色全要素生产率之间的“倒 U 型”关系,并指出科技人才集聚在不同类型的城市中具有异质性影响. 胡婧玮等<sup>[9]</sup>还发现应用研究人才和试验开发研究人才的集聚能够有效促进全要素生产率提高.

科技人才的研究主要基于科技人才集聚程度、科技人才密度等静态变量,较难体现科技人才的流动趋势. 如今,在高质量发展要求的推动下,中国地区间的科技人才流动愈发频繁,探究科技人才流动对绿色全要素生产率的影响对于城市经济高质量发展和科技人才资源的合理配置都具有重要意义. 为此,本文以中国 283 个城市作为研究对象,测算和分析其 2003—2019 年的绿色全要素生产率和科技人才流动水平,并基于空间误差模型和多尺度地理加权回归从全局和局部分别讨论科技人才流动对绿色全要素生产率的影响.

本文可能的边际贡献在于:第一,囿于数据,现有人才流动研究多以定性分析为主,且科技人才流动测算多集中在省际层面. 本文将熵权法引入引力模型<sup>[10-12]</sup>,构建城市层面的科技人才流动测算模型,对城市科技人才流动水平的定量分析进行新的尝试. 第二,在考虑人才因素对绿色全要素生产率的影响时,已有研究多采用人才集聚程度、科技人才占比等反映人才聚集状态的静态指标,本文定义了科技人才流动水平指标描述科技人才流动的动态趋势. 第三,本文将空间误差模型和多尺度地理加权回归有机结合,从全局和局部的双重视角对绿色全要素生产率的空间自相关性和空间异质性进行更全面且深入的讨论.

## 1 城市科技人才流动水平的测算

### 1.1 城市科技人才流动水平测算模型

影响科技人才流动的因素包括个人职业发展需求、专业技能和知识水平、工作环境和文化氛围、社会关系和公共服务等方面<sup>[13]</sup>. 李婧等<sup>[4]</sup>采用引力模型估算省级科技人才流动时,将地区之间各科技人才流动影响因素的商的加权累乘值作为修正系数. 然而,在城市层面上,不同城市指标之间存在量级的差异,商的方法并不适用. 为此,本文从经济发展水平、科研创新氛围、教育重视程度、社会公共服务、自然生态环境五个方面构建城市科技人才竞争力指标体系(如表 1 所示),运用熵权法<sup>[14]</sup>对科技人才城市竞争力指标体系进行综合评价,以评价结果对引力模型进行修正,定义城市间的科技人才引力模型:

$$M_{ij} = \frac{C_i}{C_i + C_j} \frac{T_i^\alpha T_j^\beta}{D_{ij}^\varphi},$$

式中, $M_{ij}$ 为城市  $i$  对城市  $j$  的科技人才引力; $T_i$  表示城市  $i$  的科技人才规模,以科研、技术服务从业人员数表征; $D_{ij}$ 表示城市  $i$  与城市  $j$  的地理距离; $C_i$  为城市  $i$  的科技人才竞争力, $C_i / (C_i + C_j)$  为修正系数; $\varphi$  为距离摩擦系数, $\varphi$  越大表示引力值随距离的增加衰减的越快, $\varphi = 1$  时,引力模型能够更好的刻画国家尺

表 1 城市科技人才竞争力指标体系

Table 1 Index system of urban scientific and technological talents competitiveness

一级指标	二级指标	方向
经济发展水平	人均 GDP	正
	平均工资	正
	城市房价	负
科研创新氛围	科研经费支出	正
	专利授权量	正
教育重视程度	人均教育经费	正
	每百人图书馆藏书	正
社会公共服务	每万人医疗床位	正
	人均道路面积	正
自然生态环境	人均园林绿地	正
	PM2.5	负

度上城市间相互作用力<sup>[12]</sup>( $\alpha, \beta$  为科技人才规模的引力参数,一般令  $\alpha = \beta = 0.5$ <sup>[4]</sup>).

本文基于中国第七次人口普查数据对科技人才引力模型的结果进行分析,以检验该模型是否能有效反映城市间科技人才流动的真实状况.参考可得数据的 178 个城市名单,计算出这城市 2019 年对所有外省份城市的科技人才引力之和,并将之作为检验对象与普查数据中与科技人才流动含义相近的“全市专业技术人员的户口登记地在外省人口数”进行对比.结果表明:估算值与真实值之间的相关度较高,皮尔逊相关系数达到 0.879,表明城市科技人才引力指标确能反映城市间科技人才流动的真实情况.

推拉理论指出,人口流动是城市间推力和拉力共同作用的结果.参考田成诗等<sup>[15]</sup>对城市人口虹吸力的定义,本文定义科技人才净吸引力指标以反映城市科技人才流动水平:

$$TTML_i = \sum_{j=1, j \neq i}^{283} (M_{ij} - M_{ji}),$$

式中,  $TTML_i$  为城市  $i$  的科技人才净吸引力.  $TTML_i > 0$  表明城市  $i$  在科技人才流动中处于净流入状态,是科技人才净流入的地区;  $TTML_i < 0$  则表明城市  $i$  在科技人才流动中处于净流出状态,是科技人才净流出的地区.

## 1.2 城市科技人才流动水平的结果分析

2003—2019 年间中国城市科技人才流动水平的取值为  $[-0.336, 2.898]$ , 流入地区的最大值接近流出地区的 9 倍,且流入地区的中位数 0.056 6 远小于其最大值 2.898,表明中国城市科技人才流动具有空间非均衡性,少数发达城市集中了其他大量城市的科技人才.城市科技人才净吸引力总量从 2003 年的 7.393 提升至 2019 年的 16.188,城市间的人才流动愈发频繁.本文依据流入和流出地区的中位数将科技人才流动水平分为 4 个等级,其中,  $TTML$  小于  $-0.045 4$  定义为绝对劣势,  $TTML$  大于  $-0.045 4$  小于 0 定义为相对劣势,  $TTML$  大于 0 小于 0.055 6 定义为相对优势,  $TTML$  大于 0.055 6 定义为绝对优势.据此,图 1(a)–(c) 显示中国 2003、2011 和 2019 年城市科技人才流动水平空间分布.地图采用国家地理信息公共服务平台的市级行政区划可视化数据,审图号:GS(2024)0650 号.

图 1 表明,多数城市在科技人才流动处于劣势,且劣势程度逐渐提高,尤其是 2019 年,半数以上城市处于绝对劣势状态,大部分城市在科技人才流动中扮演人才输出的角色,且随着科技人才流动总量的提

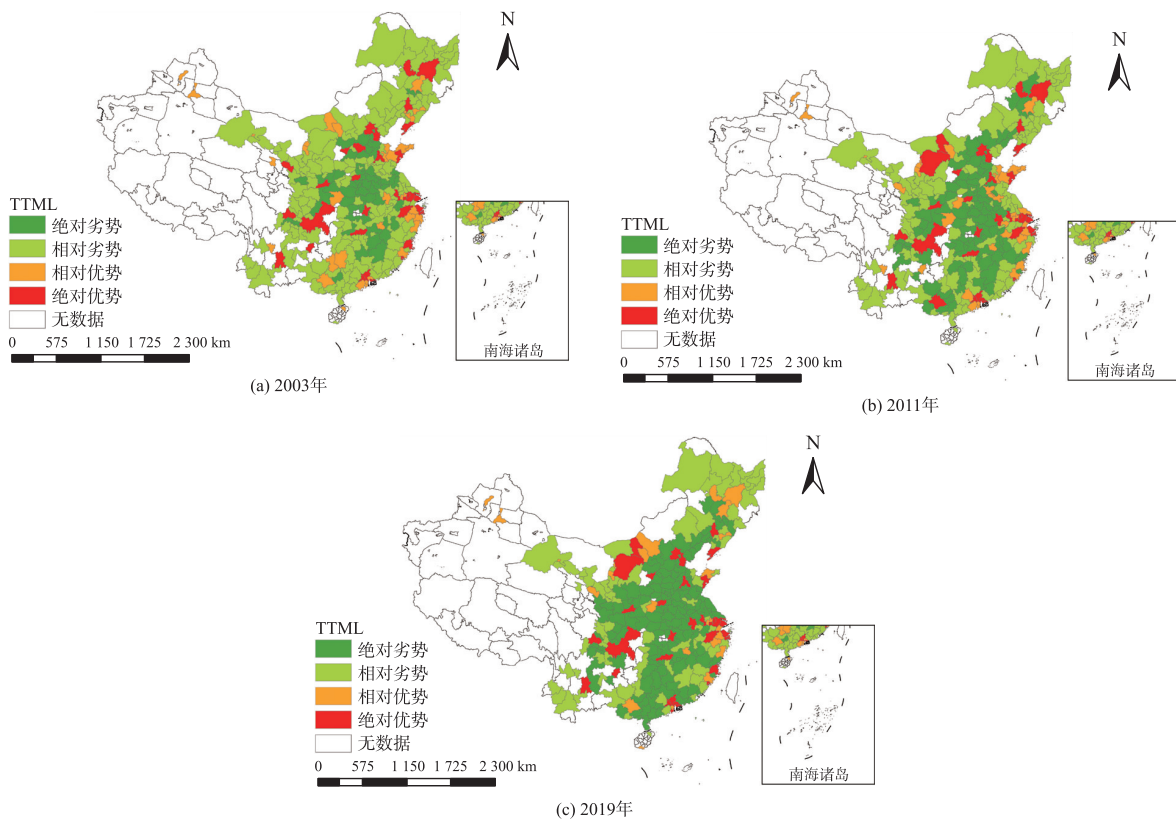


图 1 城市科技人才流动的时空分布

Fig. 1 Spatiotemporal distribution of the flow of urban scientific and technological talents

高,这些城市的人才流失情况不断加深.同时,处于绝对优势和绝对劣势的城市数均随时间增加,科技人才流动表现出“强者恒强、弱者恒弱”的马太效应.占据绝对优势城市的分布零散且多被处于绝对劣势的城市包围,验证了科技人才高度集中区域中存在的“虹吸效应”<sup>[16]</sup>,周边城市更易陷入人才流失的局面.

科技人才流动水平排名前 15 的城市较为稳定.其中,北京、上海、广州、深圳、武汉、天津、南京、重庆、成都、杭州、西安、长沙一直稳居前 15,除 2003 和 2004 年外,排名前四均为北上广深.北上广深作为中国经济的龙头城市一直是科技人才最主要的流入地区,而省会作为一个省份的中心也对周围城市产生了较强的“科技人才虹吸”.值得注意的是,苏州和无锡凭借其强大的经济实力成为前 15 中仅有的两座地级市,这表明除城市的行政等级外,经济发展水平是吸引科技人才的重要因素.此外,东北地区仅沈阳入围,且排名较后,甚至在 2015 之后退出前 15 名的名单,这反映出以沈阳为代表的东北老工业基地如今整体科技实力的衰弱.据国研中心统计,吉林大学、哈尔滨工业大学等 20 所东北地区代表性高校 2019 届毕业生的流失率高达 63.46%,其中东北生源的流失率达到了 26.45%,人才流失已经成为了东北地区经济发展的瓶颈性问题<sup>[17]</sup>.

## 2 城市科技人才流动对绿色全要素生产率的影响研究

### 2.1 变量选择

本文选择城市绿色全要素生产率作为被解释变量.基于全局超效率 SBM 模型<sup>[18]</sup>,选取劳动、资本和能源消耗作为投入变量,GDP 作为期望产出,同时结合双碳目标,将碳排放量作为非期望产出测算中国城市绿色全要素生产率.资本存量以永续盘存法估算<sup>[19]</sup>,劳动力以城镇单位从业人员和私营、个体从业人员的总量衡量,能源消耗和碳排放量基于夜间灯光数据拟合<sup>[20]</sup>,GDP 通过省级平减指数转换为 2003 年不变价.

本文以城市科技人才流动水平作为解释变量,根据已有研究选择如下控制变量<sup>[8,16,21,22]</sup>:经济发展水平,采用人均 GDP 的对数衡量;产业升级水平,采用第三产业产值占 GDP 的比重衡量;政府支持程度,采用科学与教育支出占政府财政支出的比重衡量;城市人口规模,采用人口密度的对数衡量;环境规制强度,受限于城市污染排放与治理数据缺失,本文借鉴陈诗一等<sup>[21]</sup>的做法,采用地方政府报告中环保词的频数占比的对数衡量.

变量的描述性统计如表 2 所示.其中,数据主要来自于历年《中国统计年鉴》、《城市统计年鉴》和各城市的统计公报;省级碳排放数据来自于 CEDAs 数据库;夜间灯光数据选用 NOAA 网站 NGDC 数据中心的 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据.少量缺失值采用插值法进行补齐,价格相关数据均以 2003 为基期按省份平减.

表 2 变量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of variables

变量名称	符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
绿色全要素生产率	GTFP	4 811	0.409	0.123	0.115	1.226
科技人才流动水平	TTML	4 811	0.000	0.198	-0.336	2.898
经济发展水平	lnPGDP	4 811	0.719	0.763	-1.665	2.946
产业升级水平	IS	4 811	0.385	0.095	0.086	0.835
政府支持程度	Gov	4 811	0.196	0.045	0.021	0.419
城市人口规模	lnPD	4 811	5.720	0.913	1.539	7.934
环境规制强度	lnER	4 811	-5.536	0.607	-8.653	-3.778

### 2.2 模型设定

为探讨科技人才流动水平对绿色全要素生产率的影响,本文构建基准模型一:

$$GTFP_{it} = \beta_1 TTML_{it} + \beta_2 \ln PGDP_{it} + \beta_3 IS_{it} + \beta_4 Gov_{it} + \beta_5 \ln PD_{it} + \beta_6 \ln ER_{it} + \varepsilon_{it}$$

郭金花等<sup>[8]</sup>指出城市科技人才集聚对全要素生产率的影响表现为先增后减的“倒 U 型”.受其启发,为探究科技人才流动水平对绿色全要素生产率的影响是否具有非线性特征,本文在基准模型一的基础上加入科技人才流动水平的平方项构建基准模型二:

$$GTFP_{it} = \beta_1 TTML_{it} + \beta_2 TTML_{it}^2 + \beta_3 \ln PGDP_{it} + \beta_4 IS_{it} + \beta_5 Gov_{it} + \beta_6 \ln PD_{it} + \beta_7 \ln ER_{it} + \varepsilon_{it}$$

### 2.3 全局影响分析

表 3 显示 2003—2019 年中国城市 GTFP 在地理距离权重 ( $W_1$ )、经济距离权重 ( $W_2$ ) 和综合距离权重 ( $W_3$ ) 三种权重下的莫兰指数<sup>[23]</sup>,其总体上都在 1% 的水平下显著大于 0,表明中国城市 GTFP 之间存在显著的空间正相关性。

表 3 中国城市 GTFP 的莫兰指数  
Table 3 Moran's index of GTFP of Chinese cities

年份	$W_1$	$W_2$	$W_3$	年份	$W_1$	$W_2$	$W_3$
2003	0.28***	0.01	0.21***	2012	0.20***	0.20***	0.31***
2004	0.29***	0.03	0.23***	2013	0.17***	0.20***	0.29***
2005	0.27***	0.07***	0.22***	2014	0.19***	0.14***	0.26***
2006	0.27***	0.12***	0.28***	2015	0.18***	0.14***	0.25***
2007	0.25***	0.12***	0.28***	2016	0.17***	0.14***	0.25***
2008	0.23***	0.15***	0.29***	2017	0.19***	0.20***	0.32***
2009	0.19***	0.18***	0.29***	2018	0.22***	0.22***	0.34***
2010	0.20***	0.20***	0.30***	2019	0.19***	0.15***	0.26***
2011	0.18***	0.18***	0.28***				

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下显著。

地理距离权重下莫兰指数随着时间降低,在经济距离权重下莫兰指数从一开始的不显著逐渐提高,表明随着现代交通和信息技术的发展,地理距离对城市关联的影响逐渐减弱,城市之间的经济关联逐步增强。2006 年后,综合距离矩阵下的莫兰指数最大,表明城市间的经济关联和地理关联同时发挥作用,研究时应综合考虑城市间的地理和经济关联。

表 4 基准模型一和基准模型二的检验结果

Table 4 Test results of benchmark model one and benchmark model two

检验统计量	基准模型一	基准模型二	检验统计量	基准模型一	基准模型二
Hausman 检验	2 393.84***	1 960.52***	R-LM-ERR 检验	150.60***	148.35***
LM-LAG 检验	8.10***	9.09***	个体联合效应检验	660.01***	638.97***
R-LM-LAG 检验	0.32	0.32	时间联合效应检验	4 559.75***	4 538.31***
LM-ERR 检验	158.39***	157.12***			

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下显著。

如表 4 所示,基准模型一和基准模型二的模型选择结果一致。其中,Hausman 检验表明模型中固定效应优于随机效应,联合效应的 LR 检验表明时间个体的联合固定效应要优于单独的个体/时间固定效应。LM 检验结果中,LM-LAG、LM-ERR 和 R-LM-ERR 检验均在 1% 的水平下显著,而 R-LM-ERR 检验结果不显著,说明选择空间误差模型 SEM 模型更为恰当。综合上述分析,分别建立基准模型一和基准模型二对应的空间误差时间个体双固定效应模型,即模型 1 和模型 2。

模型 1:

$$GTFP_{it} = \beta_1 TTML_{it} + \beta_2 \ln PGDP_{it} + \beta_3 IS_{it} + \beta_4 Gov_{it} + \beta_5 \ln PD_{it} + \beta_6 \ln ER_{it} + \mu_i + \nu_t + \varphi_{it},$$

$$\varphi_{it} = \omega \sum_{j=1}^n W_{ij} \varphi_{jt} + \varepsilon_{it}.$$

模型 2:

$$GTFP_{it} = \beta_1 TTML_{it} + \beta_2 TTML_{it}^2 + \beta_3 \ln PGDP_{it} + \beta_4 IS_{it} + \beta_5 Gov_{it} + \beta_6 \ln PD_{it} + \beta_7 \ln ER_{it} + \mu_i + \nu_t + \varphi_{it},$$

$$\varphi_{it} = \omega \sum_{j=1}^n W_{ij} \varphi_{jt} + \varepsilon_{it}.$$

模型 1 和模型 2 的回归结果如表 5 所示。其中,空间误差系数均显著为正,表明中国城市 GTFP 之间存在正向空间关联。模型 1 中 TTML 系数在 1% 的水平下显著为正,表明科技人才的流入能够有效的提升一个地区的经济发展质量。模型 2 中 TTML 的一次项和二次项系数分别为 0.309 2 和 -0.029,且都通过了 1% 的显著性检验。进一步地,其拐点在 5.331 附近,2003—2019 年间,中国城市均处于“倒 U 型”的左半支。无论是否考虑非线性关系,科技人才流动对绿色全要素生产率的全局影响均显著为正,在考虑非线性关系时,科技人才流动对绿色全要素生产率的促进作用存在边际效应递减的现象。究其原因,科技人才流

动对绿色全要素生产率的影响是“知识溢出效应”、“集聚效应”和“拥挤效应”共同作用的结果. 知识溢出效应指出科技人才在流动过程中实现了知识的跨地区交融,能提升区域整体知识储备量,为新技术的产生提供更多的理论支撑,有利于绿色全要素生产率的增长<sup>[24]</sup>. “集聚效应”包括协同合作和竞争激励<sup>[6]</sup>. 科技人才集聚不仅有利于区域内部人才的交流与互补,也会形成人才间的竞争压力,激励人才不断提高自身的科学素养. 科技人才的流入能有效帮助当地形成“集聚效应”,营造良性创新环境,加速绿色技术的发展和应,促进绿色全要素生产率的提高. 随着科技人才的持续流入,当人才集聚规模超过地区的承载能力时,就会产生人才的无序竞争、资源的积压浪费等“拥挤效应”<sup>[8]</sup>,降低科技人才流入的收益,对全要素生产率产生不利影响<sup>[25]</sup>. 目前中国科技人才流动依然对经济发展质量产生促进作用,其影响以“知识溢出效应”和“集聚效应”为主. 同时,其报酬的边际递减提醒要积极引导科技人才合理流动,鼓励跨地区合作与资源共享,以缓解科技人才高集聚地区的承载压力,确保科技人才的积极作用得以更大发挥.

表 5 全局效应回归结果

Table 5 Regression results of global effects

变量	模型 1		模型 2	
	系数	标准误	系数	标准误
<i>TTML</i>	0.2464***	(15.152 5)	0.3092***	(12.422 8)
<i>TTML</i> <sup>2</sup>	—	—	-0.0290***	(-3.325 4)
<i>ln PGDP</i>	0.1782***	(25.848 2)	0.1760***	(25.435 1)
<i>IS</i>	0.1322***	(5.108 9)	0.1314***	(5.082 4)
<i>Gov</i>	0.2476***	(6.722 5)	0.2304***	(6.201 9)
<i>ln PD</i>	0.0837***	(4.914 2)	0.0811***	(4.766 6)
<i>ln ER</i>	-0.0090***	(-3.948 6)	-0.0087***	(-3.810 4)
<i>u</i>	0.2923***	(13.183 1)	0.2913***	(13.131 8)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.790 6		0.791 2	
<i>log L</i>	7 080.871 9		7 086.749 6	

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下显著.

模型 1 和模型 2 的结果还表明,经济发展水平高的城市更加注重生产的效率、避免污染问题,具有更高的绿色发展水平. 由于工业和服务业的生产效率存在显著差异,投入要素从工业向服务业的转移能够有效的提高绿色全要素生产率<sup>[22]</sup>. 对于城市而言,经济的高质量发展离不开政府的支持,尤其是政府在科技、教育等文化软实力的投入直接影响到经济模式向“创新驱动”的转变. 同时,密集的人口不仅为地区的生产提供了充足的劳动力,也提升消费,促进了经济的活力. 此外,环境规制对 GTFP 产生了较弱的负面作用,表明目前环境规制对 GTFP 的影响尚未越过“波特拐点”<sup>[26]</sup>,“遵循成本”造成的负效应要强于“创新补偿”带来的正向影响.

通过更换空间权重矩阵,全局效应的稳健性检验如表 6. 结果显示在地理距离权重和经济距离权重下,变量的符号与显著性均与综合权重矩阵的结果相同,结果具有一定的稳健性.

表 6 全局效应的稳健性检验

Table 6 Robustness tests for global effects

变量	<i>W</i> <sub>1</sub>		<i>W</i> <sub>2</sub>	
	模型 1	模型 2	模型 1	模型 2
<i>TTML</i>	0.2423***	0.3036***	0.2571***	0.3218***
<i>DWTTML</i> <sup>2</sup>	—	-0.0281***	—	-0.0302***
<i>ln PGDP</i>	0.1868***	0.1843***	0.1611***	0.1592***
<i>IS</i>	0.1179***	0.1166***	0.1196***	0.1207***
<i>Gov</i>	0.3144***	0.2956***	0.2325***	0.2146***
<i>ln PD</i>	0.1310***	0.1265***	0.0661***	0.0641***
<i>ln ER</i>	-0.0069***	-0.0066***	-0.0091***	-0.0087***
<i>u</i>	0.5764***	0.5744***	0.1171***	0.1101***
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.789 0		0.791 1	
<i>log L</i>	7 154.848 9		7 010.099 7	

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下显著.

## 2.4 局部影响分析

已有研究表明,中国城市 GTFP 存在较强的空间异质性<sup>[27]</sup>,不同地理位置、行政等级城市的科技人才集聚的规模上限和作用机制也具有较大的差异<sup>[8]</sup>. 本文运用多尺度地理加权回归探讨科技人才流动对绿色全要素生产率的局部效应.

基于基准模型一构建相应的多尺度地理加权回归模型,即模型 3:

$$GTFP_i = \beta_{10}(\mu_i, \nu_i) + \beta_{11}(\mu_i, \nu_i) TTML_i + \beta_{12}(\mu_i, \nu_i) \ln PGDP + \beta_{13}(\mu_i, \nu_i) IS + \beta_{14}(\mu_i, \nu_i) Gov + \beta_{15}(\mu_i, \nu_i) \ln PD + \beta_{16}(\mu_i, \nu_i) \ln ER + \varepsilon_i,$$

式中,  $\mu_i$  和  $\nu_i$  代表城市  $i$  的经度和纬度,最优带宽采用高斯距离函数和 AICc 准则筛选获得.

多尺度地理加权回归模型允许不同变量具有不同的带宽,变量的带宽越大,对应变量的作用尺度越大. 研究发现,除常数项和 TTML 外,其余变量的带宽都稳定在 280 附近,说明这些变量主要起全局作用,无需进行局部效应的分析. 常数项和 TTML 的带宽变化如图 2 所示. TTML 的带宽取值在 121 到 282 之间,并随时间波动下降,占整体的比值从 99.65% 降低到 42.76%. 这表明 TTML 的作用尺度逐渐减小,对 GTFP 的影响的空间差异随时间不断增强,进一步验证了局部效应分析的必要性.

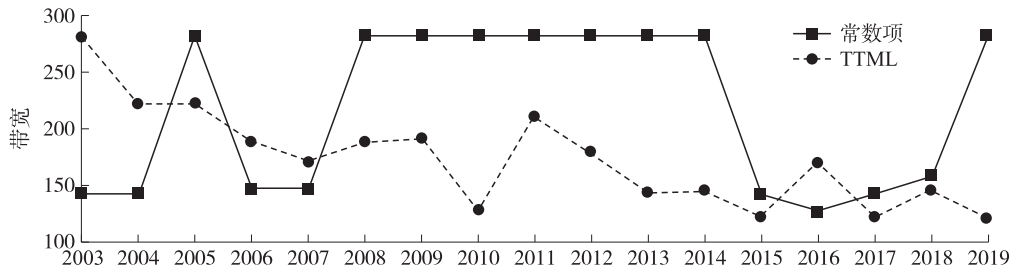


图 2 常数项和 TTML 带宽的时序变化

Fig. 2 Temporal variations of the constant term and TTML bandwidth

2003—2019 年,TTML 局部系数取值范围为  $[-0.2617, 1.2412]$ ,其中存在负向影响,与全局效应结果不一致. 鉴于正数部分范围较大,本文分别采用三分位数和中位数对局部效应的正负部分进行划分,局部系数小于  $-0.0584$  定义为绝对负影响,局部系数大于  $-0.0584$  小于  $0$  定义为相对负影响,局部系数大于  $0$  小于  $0.0629$  定义为微弱正影响,局部系数大于  $0.0629$  小于  $0.1050$  定义为中度正影响,局部系数大于  $0.1050$  定义为高度正影响. 考虑到局部系数的时间连续性,使用年平均系数可以更直观地反映空间变化<sup>[28]</sup>,本文将研究期限划分为 4 个阶段:2003—2007、2008—2011、2012—2015、2016—2019,绘制 4 个时期内的平均系数空间分布图,以揭示 TTML 局部系数的时空特征(如图 3(a)-(d)所示).

不同于全局效应的正向促进作用,科技人才流动在西部内陆的部分城市对绿色全要素生产率的发展产生了负向影响. 除重庆和成都外,这些负效应城市都在科技人才流动中处于劣势. 西部内陆整体实力较弱,更容易受到技术进步带来的“回弹效应”<sup>[16]</sup>,科技人才流动带来的技术创新刺激生产者投入更多的生产要素,产生更多的污染,抑制了科技人才流动对经济发展水平的提升作用. 此外,不同类型城市的科技人才适宜集聚区间存在差异<sup>[8]</sup>,西部地区的科技人才集聚承载规模上限较低. 重庆、成都两地突出的虹吸作用聚集了大量人才,产生的“拥挤效应”不利于地区整体的发展.

在中国的绝大多数城市,科技人才流动能够显著促进绿色全要素生产率的增长. 其中,高度正影响城市主要集中在中国南部,且数量明显增多;微弱正影响区域逐步从中部向北部转移;中度正影响城市的数量显著减少. 一方面,科技人才流动随时间在越来越多城市中发挥重要作用;另一方面,这也指出了中国科技人才流动局部效应南北分化的局面. 在全局效应边际递减的情况下,北部城市的局部效应下降得更快. 以京津冀和长三角地区为例,京津冀地区的局部系数均值由 2003 年的  $0.1403$  下降为 2019 年的  $0.0583$ ,降低了  $58.4\%$ ;长三角地区的局部系数均值由  $0.1325$  下降为  $0.0856$ ,仅降低  $35.4\%$ ,低于平均水平. 值得注意的是,不同于北部地区的整体变化,东北地区的局部效应表现出较高的水平. 当地科技人才的流入能够有效的利用闲置的自然和社会资源,充分发挥对经济发展的促进作用;同时,这也表明科技人才的进一步流失会产生更大的负面影响,东北地区的人才流失问题值得关注.

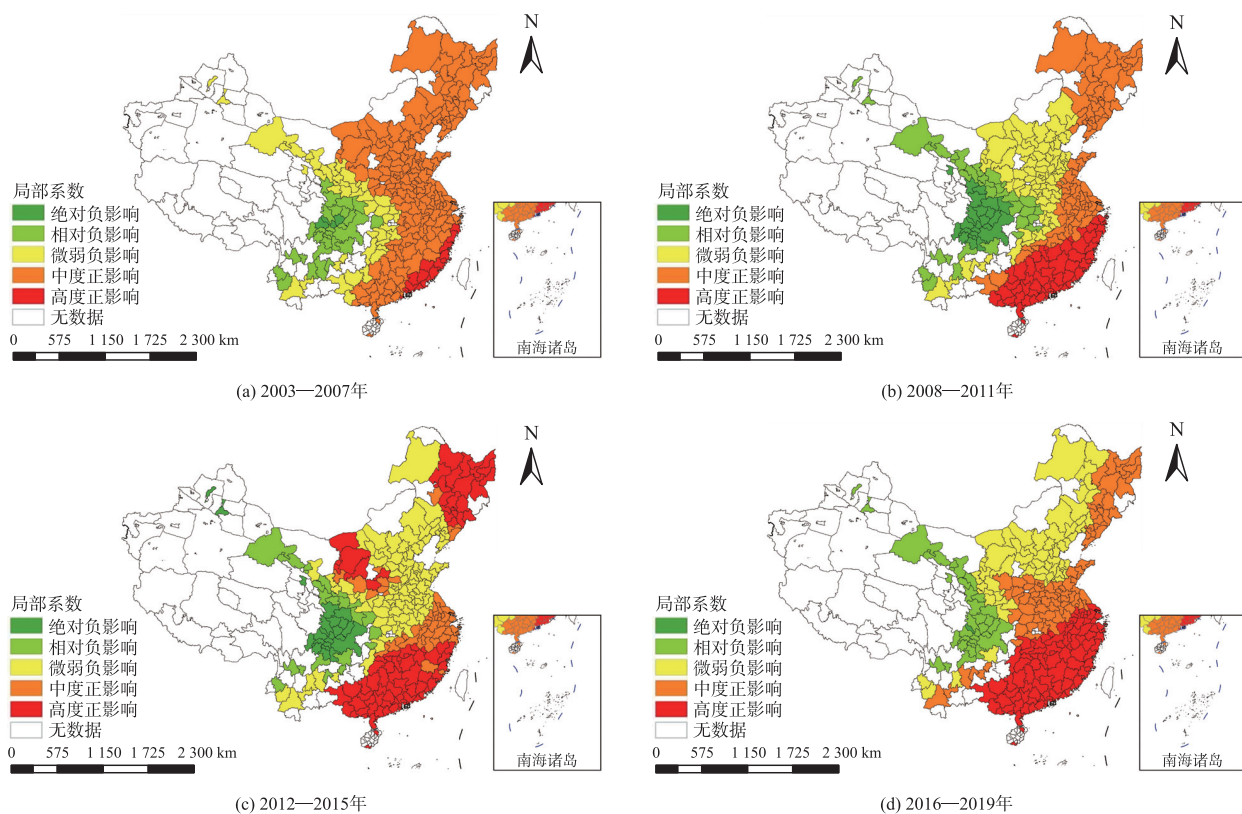


图 3 TTML 局部系数的空间分布  
 Fig. 3 Spatial distribution of TTML local coefficients

### 3 结论

本文将熵权法引入引力模型,定义科技人才净吸引力指标反映各城市的科技人才流动水平,并在此基础上利用空间误差模型和多尺度地理加权回归模型探讨科技人才流动对 GTFP 的影响,得出以下主要结论:(1)中国城市科技人才流动存在强者恒强、弱者恒弱的“马太效应”,大量科技人才持续向个别发达城市集中,且主要的流入城市较为稳定。(2)从全局来看,科技人才流动能够促进中国绿色全要素生产率的增长,且这种促进作用表现出边际效应递减的趋势。(3)从区域来看,科技人才流动对中国绿色全要素生产率的影响具有较强的空间差异,局部效应以正向为主,并且逐渐演变成“南强北弱”的分布,负面效应集中在以重庆、四川为核心的中西部地区。

根据研究结论,本文提出如下建议:

(1)深入实施创新驱动发展战略,加大在教育和科技上的投入,建设教育强国、科技强国、人才强国。政府在教育和科技上的投入有利于高技术型人力资本的累积和创新氛围的构建,是提高中国经济发展质量的最根本的手段。

(2)统筹协调科技人才,促进人才流动和优化人才配置,并进一步贯彻西部大开发和中部崛起战略,平衡城市间人才资源的不对称性。科技人才流动有助于绿色全要素生产率的增长,但也需注意城市间科技人才流动的两极分化现象。尤其是中西部地区,需政府加大投资力度、完善基础设施水平、营造良好科技创新环境,吸引人才回流。同时,鼓励中西部地区的招商引资,引进先进技术和设备,充分发挥当地的自然资源,缩小与东部的差距。

(3)注重区域一体化发展,以大城市为依托,由点及面的促进绿色全要素生产率的整体进步。科技人才流动的局部效应在相邻的地区具有较强的空间一致性,以大城市为依托,发达地区的绿色技术、创新理念等优质资源更易于向四周溢出,能够带动周边中小城市的发展活力,促进整体经济的高质量发展。

[参考文献]

- [1] 蔡昉. 中国经济增长如何转向全要素生产率驱动型[J]. 中国社会科学,2013(1):56-71,206.
- [2] 霍丽霞,王阳,魏巍. 中国科技人才集聚研究[J]. 首都经济贸易大学学报,2019,21(5):13-21.
- [3] 黄海刚,曲越,白华. 中国高端人才的地理流动、空间布局与组织集聚[J]. 科学学研究,2018,36(12):2191-2204.
- [4] 李婧,产海兰. 空间相关视角下 R&D 人员流动对区域创新绩效的影响[J]. 管理学报,2018,15(3):399-409.
- [5] 孙成,赵琛徽. 长江经济带科技人才创新能力与经济发展耦合协调性研究[J]. 统计与决策,2021,37(10):115-119.
- [6] 蒋正明,张书凤,李国昊,等. 我国科技人才对经济增长贡献率的实证研究[J]. 统计与决策,2011,12:78-80.
- [7] HE N. Research on the relationship between the gathering of scientific and technological talents and the high-quality development of regional economy — Taking henan province as an example[J]. The frontiers of society, science and technology,2023,5(7):114-121.
- [8] 郭金花,郭檬楠,郭淑芬. 中国城市科技人才集聚促进了全要素生产率增长吗——来自 285 个地级市的经验研究[J]. 科技进步与对策,2021,38(7):48-55.
- [9] 胡婧玮,郭金花. 高质量发展背景下科技人才集聚的生产率效应差异研究[J]. 经济问题,2021(3):26-31.
- [10] 周慧玲,王甫园. 基于修正引力模型的中国省际旅游者流空间网络结构特征[J]. 地理研究,2020,39(3):669-681.
- [11] CROZET M. Do migrants follow market potentials? An estimation of a new economic geography model[J]. Journal of economic geography,2004,4(4):439-458.
- [12] 顾朝林,庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分[J]. 地理研究,2008(1):1-12.
- [13] 孙博,刘善仕,彭璧玉,等. 中国城市人才吸引力评价指标体系研究——以 35 个主要城市为例[J]. 管理现代化,2022,42(1):129-135.
- [14] DONG L,LIANG L,CHEN L. Exploration of coupling effects in the Economy-Society-Environment system in urban areas: Case study of the Yangtze River delta urban agglomeration[J]. Ecological indicators,2021,128,107858.
- [15] 田成诗,陈雨. 人口虹吸、集聚与城市能源效率——以沪苏浙皖地区为例[J]. 统计研究,2022,39(5):93-106.
- [16] 张桅,胡艳. 长三角地区创新型人力资本对绿色全要素生产率的影响——基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(9):106-120.
- [17] 刘毅,高军,孙明哲. 东北地区人才流失危机管理系统探讨[J]. 商业研究,2009(1):91-94.
- [18] CHEN Y,ZHANG R,MIAO J. Unearthing marine ecological efficiency and technology gap of China's coastal regions: a global meta-frontier super SBM approach[J]. Ecological indicators,2023,147:109994.
- [19] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算:1952~2006 年[J]. 数量经济技术经济研究,2008,25(10):17-31.
- [20] ZHANG X,CAI Z,SONG W,et al. Mapping the spatial-temporal changes in energy consumption-related carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region via nighttime light data[J]. Sustainable cities and society,2023,94:104476.
- [21] 陈诗一,陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究,2018,53(2):20-34.
- [22] 程中华,李廉水,刘军. 环境约束下技术进步对能源效率的影响[J]. 统计与信息论坛,2016,31(6):70-76.
- [23] TILLÉ Y,DICKSON M M,ESPA G,et al. Measuring the spatial balance of a sample: a new measure based on Moran's I index[J]. Spatial statistics,2018,23:106731.
- [24] 白俊红,王钺. 研发要素的区际流动是否促进了创新效率的提升[J]. 中国科技论坛,2015(12):27-32.
- [25] 李世刚,尹恒. 政府-企业间人才配置与经济增长——基于中国地级市数据的经验研究[J]. 经济研究,2017,52(4):78-91.
- [26] PORTER E M. Towards a dynamic theory of strategy[J]. Strategic management journal,1991(12):95-117.
- [27] 肖攀,李连友,唐李伟,等. 中国城市环境全要素生产率及其影响因素分析[J]. 管理学报,2013,10(11):1681-1689.
- [28] BAI D,DONG Q,REHMAN A S K,et al. Spatio-temporal heterogeneity of logistics CO<sub>2</sub> emissions and their influencing factors in China: an analysis based on spatial error model and geographically and temporally weighted regression model[J]. Environmental technology innovation,2022,28:102791.

[责任编辑:陆炳新]