

# 中部6省科技创新效率的空间集聚演进与驱动机制分析

王思成<sup>1</sup>, 魏国恩<sup>2</sup>, 高明明<sup>1,3\*</sup>

1. 贵州大学建筑与城市规划学院, 贵阳 550025

2. 南昌大学资源与环境学院, 南昌 330031

3. 浙江大学建筑工程学院, 杭州 310058

**摘要** 以2011—2021年中部6省87个市、州面板数据为样本,集成三阶段数据包络分析、全局及局部空间自相关方法,分析各城市科技创新效率的时空演变特征与集聚格局,探究其动态和静态驱动作用机制。结果显示:科技创新效率区域差异程度提高,空间分布逐步由“整体北强南弱、局部差异分布”,向省会核心外围转变;空间集聚性增强,形成因地制宜的创新驱动机制;为中小微企业提供完善的政策与科技支撑服务,是该地区提高科技创新效率的重要路径。

**关键词** 科技创新效率;空间自相关;地理探测器;驱动机制;中部6省

区域协同创新模式是凝聚创新驱动理论和创新驱动战略的科学路径,日益成为推动区域经济高度协调化的“中国智慧”。注重创新驱动发展,强化创新体系和创新能力建设,推动科技创新和经济社会发展深度融合,塑造更多依靠创新驱动、更多发挥先发优势的引领型发展,是我国“十四五”期间实现创新型国家建设的重要工作方向<sup>[1]</sup>。党的十九大以来,为实现供给侧改革和区域产业结构升级,各

地区科技要素投入愈发强劲,区域创新合作网络愈发密集,形成了以京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群为核心的科技创新高地,雄安新区、粤港澳大湾区、浦东新区、南沙新区和两江新区等一批国家级新区也逐步建设为驱动区域经济高质量发展的重要引擎<sup>[2]</sup>。然而,科技资金浪费、科技资源管控低效和创新成果转换率低仍是抑制地区创新技术跃升的内在问题,科技资源跨区域配置低和科

收稿日期:2022-08-09;修回日期:2022-11-03

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2022]一般234号);贵州大学博士基金项目(贵大人基合字[2020]10号)

作者简介:王思成,讲师,研究方向为城乡韧性生态系统规划,电子信箱:scwang@gzu.edu.cn;高明明(通信作者),讲师,研究方向为区域产业经济协调发展与治理,电子信箱:9823455@qq.com

引用格式:王思成,魏国恩,高明明. 中部6省科技创新效率的空间集聚演进与驱动机制分析[J]. 科技导报, 2023, 41(7): 6-14; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.07.001

技术创新管理经验交流欠缺仍是阻隔现代化区域创新体系建设的掣肘性因素<sup>[3-5]</sup>。如何优化科技资源跨区域合理配置和提高科技创新效率,成为推进新型城镇化建设和形成以创新为主要引领支撑的经济体系的重点和难点,开展区域科技创新效率评价研究尤为重要<sup>[6-8]</sup>。

目前研究人员多采用数据包络分析、随机前沿模型、标准差椭圆和趋势面分析等方法<sup>[9-10]</sup>,综合研究长三角<sup>[11]</sup>、京津冀<sup>[12]</sup>和珠三角<sup>[13]</sup>等地区科技创新效率的空间异质性,对中西部欠发达或发展中地区的相关研究还较少涉及,难以为该区域产业转型升级和创新能力管理水平提升提供科学借鉴<sup>[14-15]</sup>。

地区经济规模、全球化水平和政府服务能力等城市要素对科技创新效率的驱动影响,近年来得到研究人员的广泛关注,普通最小二乘法<sup>[16]</sup>和Tobit回归模型<sup>[17]</sup>被运用于相关研究中,但以地理空间要素为基础的驱动机制探讨尚有不足,难以对区域整体科技创新效率的持续健康发展提供科学借鉴。基于此,本研究以中部6省87市、州为研究对象,集成分阶段数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)、全局自相关和局部自相关方法分析科技创

新效率的时空演进特征,并基于地理探测器和地理加权回归(geographically weighted regression, GWR)模型探究影响科技创新效率分布的动静态驱动机制。

## 1 研究区概况

中部6省是实现“中部崛起”战略的主体区域,包括河南省、山西省、湖北省、安徽省、湖南省、江西省共6省87市、州。该地区面积达102.8万km<sup>2</sup>,占全国陆地面积的10.7%,2021年GDP共计14.59万亿元,占全国的17.6%,具有经济快速发展的巨大潜力和优势(图1)。近年来,随着科创资源由国际向国内转移,由东部沿海向中西部地区迁移,中部6省的科技创新实力和科技研发水平持续提升。2021年该地区公共预算支出中科技支出共计894.38亿元,为优化企业创新和产业升级环境奠定了充足的基础。持续增长的科技投入、产学研高新技术资源云集,推动中部6省逐步成为国家科技创新试点的重点区域之一。

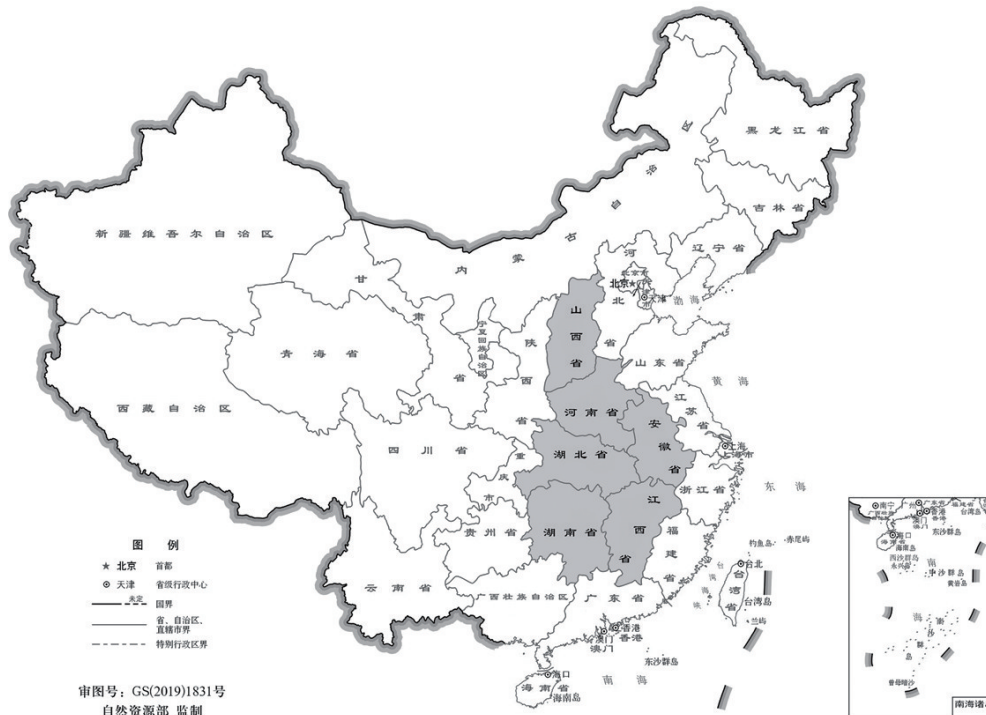


图1 中部6省的空间范围和地理区位

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

首先是结合三阶段 DEA 模型和探索性空间数据分析, 研究中 6 省科技创新效率的动态演化; 其次是以地理探测器 and 地理加权回归模型分析科技创新效率分布的驱动机制, 重点是运用地理探测器和地理加权回归模型分别展开驱动因素的动态和静态分析。

#### 2.1.1 效率评价模型与指标选取

结合前人研究成果<sup>[10,18]</sup>, 建立三阶段 DEA 模型, 排除外部环境对效率评价的干扰, 提高科技创新效率的测度精准度。其中, 第一阶段采用纯技术

效率 (pure technical efficiency, PTE) 模型评价“规模报酬不变条件下”各单元科技创新效率、纯科技创新效率和规模效率; 第二阶段采用随机前沿分析 (stochastic frontier approach, SFA) 模型, 将管理效率、环境因素和统计随机因素 3 种对研究单元科技创新效率的影响分离; 第三阶段将前阶段调整后的产出数据和原始产出数据重新代入 PTE 模型中, 对科技创新效率、纯科技创新效率和规模效率进行重新测算。三阶段 DEA 模型的运算步骤不作展示, 具体可参考张宁等<sup>[18]</sup>的研究。我们从投入、产出及环境变量 3 个维度建立中部 6 省科技创新效率的评价指标体系 (表 1)。

表 1 科技创新效率指标体系

变量种类	变量名称	指标涵义	变量符号
投入变量	R&D 经费内部支出	反映全社会用于基础研究、应用研究和科研发展的经费支出额	$X_1$
	研发人员全时当量	反映按工作量折算的科研服务人员数	$X_2$
产出变量	专利申请授权数	反映按专利多寡衡量的区域创新能力	$Y_1$
	规模以上工业企业利润总额	反映现代工业体系下科技创新对工业发展的溢出增益	$Y_2$
环境变量	地区生产总值	反映区域的经济实力	$Z_1$
	研究机构全时当量	反映区域的研究平台多寡和科研环境	$Z_2$
	教育支出占一般公共预算支出比重	反映区域教育水平和社会投入水平	$Z_3$

科技创新活动需要大量的资本支撑和智力投入, 从资金和人力 2 个层面选取全社会研究与试验发展经费 (research and experimental development, R&D) 的内部支出 ( $X_1$ )、研发人员数全时当量作为科技创新活动的投入指标 ( $X_2$ ); 期刊论文、专利数是常见的科研产物, 工业企业盈利收入与科技创新成效关联, 选取专利申请授权数 ( $Y_1$ )、规模以上工业企业利润总额 ( $Y_2$ ) 为技术创新活动的产出指标<sup>[17]</sup>; 科技创新活动受区域经济规模、科教研水平等外在环境因素影响<sup>[10]</sup>, 选取地区生产总值 ( $Z_1$ )、研究机构全时当量 ( $Z_2$ ) 和教育支出占一般公共预算支出比重 ( $Z_3$ ) 作为科技创新效率的环境变量<sup>[19-20]</sup>。

#### 2.1.2 探索性空间自相关分析

全局自相关分析: 选取全局莫兰指数 (Global

Moran's  $I$ , Moran's  $I$ ), 用于探测中部 6 省科技创新效率的空间关联结构和空间自相关集聚特性:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中,  $x_i, x_j$  表示第  $i, j$  个市、州的科技创新效率值;  $n$  为参与空间分析的单元数;  $w_{ij}$  为空间权重矩阵;  $S_0$  为所有要素标准差之和。

局部自相关分析: 采用安瑟伦局部莫兰指数 (Anselin Local Moran's  $I$ , Local Moran's  $I$ ) 分析局部区域的空间自相关程度<sup>[21-22]</sup>:

$$I_i = Z_i \sum_j W_{ij} Z_j, Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{Var}(I_i)}} \quad (2)$$

式中,  $Z_i, Z_j$  表示观测值的标准化形式;  $I_i$  表示局部

空间关联程度,当 $I_i > 0$ ,表明区域邻近单元相似值集聚, $I_i < 0$ 表明区域邻近单元非相似值集聚; $I_i$ 为0表示区域邻近单元值随机分布; $Z(I_i)$ 为局部自相关的 $Z$ 检验。

### 2.1.3 地理探测器

地理探测器是中国科学院王劲峰团队开发的空分异与影响因子探测软件<sup>[23]</sup>,该模型有因子探测、交互作用探测、风险区探测及生态探测4种类型。本研究选取的因子探测揭示驱动因子对中部6省科技创新效率的解释程度。模型如下:

$$T_d = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中, $d$ 为中部6省科技创新效率的驱动因子; $T_d$ 为 $d$ 驱动因子对中部6省科技创新效率的解释力,取值介于[0,1],该值越大,解释能力越强; $h$ 为分类数; $N_h$ 和 $N$ 分别为 $h$ 类和全部区域的单元数, $\sigma_h^2$ 和 $\sigma^2$ 分别为 $h$ 类和全部区域的 $y$ 值的方差。

### 2.1.4 地理加权回归模型

地理加权回归(GWR)模型考虑要素的非平稳性,能够衡量驱动因素因地区而异的空间差异<sup>[24]</sup>。本研究利用ArcGIS平台GWR工具进行地理加权回归分析,地理加权回归模型的方程如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i; \quad (4)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, k$$

式中, $(u_i, v_i)$ 是地区 $i$ 的空间坐标; $y_i$ 和 $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ik}$ 分别是因变量 $y$ 和解释变量 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ 在 $(u_i,$

$v_i)$ 处的观测值; $\varepsilon_i$ 是随机误差项;系数 $\beta(u_i, v_i)$ 是关于空间位置的 $k$ 个未知函数。

借助加权最小二乘法对样本点的回归参数进行测算,公式如下:

$$\beta_j(u_i, v_i) = [X'W(u_i, v_i)X]^{-1} x^T W(u_i, v_i) y_i \quad (5)$$

式中, $X$ 是自变量矩阵; $x^T$ 是自变量转换矩阵; $W$ 是 $n \times n$ 的空间权重矩阵,反映了地理空间位置对参数估计的影响。

## 2.2 数据来源

科技创新效率评价指标数据主要来源于相关年份《中国科技统计年鉴》《中国城市统计年鉴》,并以河南省、山西省、湖北省、安徽省、湖南省、江西省的省域统计年鉴及87市、州统计年鉴、统计公报和政府工作报告等统计资料加以补充。

## 3 科技创新效率时空演变特征与影响因素的实证分析

### 3.1 中部6省科技创新效率时空演变分析

表2反映各省科技创新效率平均值、变异系数和等级序列情况。总体来看,中部6省2011—2021年的科技创新效率整体水平相对稳定( $AVG: 0.349 \rightarrow 0.341$ ),但区域内城市间的差异程度显著提高( $CV: 0.465 \rightarrow 0.715$ )。从省域对比看,各省科技创新效率的第一梯队比重( $TFS$ )普遍增长,河南省替换山西省成为首位省份。2011—2021年,山西省

表2 中部6省科技创新效率的描述统计

年份	指数	湖南省	山西省	河南省	安徽省	江西省	湖北省	总体
2011年	HVC	0	2	3	1	0	3	9
	TFS	0	18.20	16.70	6.30	0	17.60	10.34
	AVG	0.349	0.671	0.520	0.528	0.442	0.498	0.349
	CV	0.463	0.339	0.422	0.431	0.451	0.503	0.465
2021年	HVC	1	0	3	1	0	2	8
	TFS	7.143	0	16.667	6.250	0	11.765	9.190
	AVG	0.270	0.108	0.458	0.368	0.426	0.290	0.341
	CV	0.723	0.769	0.547	0.636	0.463	0.812	0.715

注:分析科技创新效率的最高价值贡献(highest value contribution, HVC),根据自然断点法分类后得到各省拥有第一序列的城市数,分类结果如图2所示;科技创新效率的第一梯队比重(team first sequence, TFS),代表HVC城市占省域内城市总数的比重;科技创新效率的平均值(average, AVG);变异系数值(coefficient of variation, CV),反映各省科技创新效率的协调性。

科技创新效率  $CV$  值增长 0.43, 效率均值由 0.671 骤降至 0.108, 效率高值城市接连消失。表明该时段山西省科技创新资源的投入冗余问题突出, 科技资源利用绩效缩水, 既缺乏核心带动的高值城市, 城市间科技创新管理也缺乏良性协作机制; 河南省科技创新效率均值虽有下降 ( $AVG: 0.52 \rightarrow 0.458$ ) 但在 2021 年居于首位, 城市内部科技创新效率差异也相对较小 ( $CV_{2017}: 0.547$ ), 表明河南省保持较优的科技资源配置优化水平, 城市间的科创管理模式互有借鉴, 实现了整体创新效率排名的稳步上升。

图 2 反映出中部 6 省 2011—2021 年间科技创新效率的空间分布逐步由“整体北强南弱、局部破碎分布”向以省会为中心的核心外围模式转变。2011 年, 湖南省、江西省等南部地区表现孱弱, 北部地区形成以晋城市、吕梁市、漯河市、周口市和芜湖市等为代表的创新效率高地, 各省域边缘区位尚未形成创新效率规模集聚。到 2021 年, 武汉市、长沙市、郑州市、合肥市、太原市等省会城市, 因科创资金利用、科研机构管理优势成为各省的科技创新效率中心, 并逐步产生创新管理示范效应和溢出效应, 带动周边地区形成科技创新效率核心外围组团。

### 3.2 中部 6 省科技创新效率空间聚类分析

图 3 反映创新技术效率全局 Moran's  $I$  变化。中部 6 省科技创新效率正相关空间集聚性, 随着 Moran's  $I$  不断提高 ( $0.170 \rightarrow 0.225$ ), 空间集聚特性持续加强,  $Z$  检验值也始终超过临界值, 通过 95% 显著性水平上的统计检验。图 4 是局部自相关分析下的 (local indicators of spatial association, LISA)

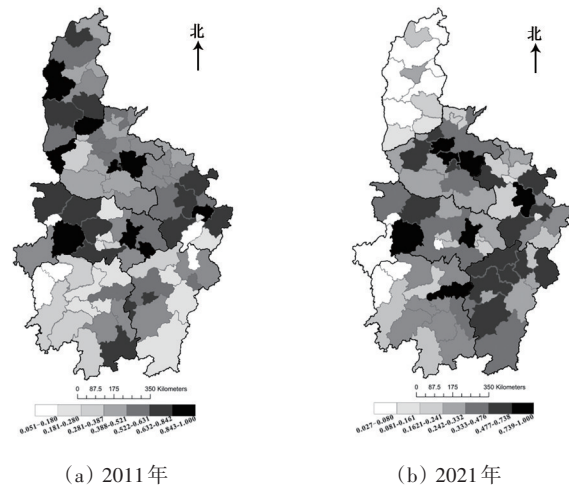


图 2 中部 6 省技术创新效率空间分布

聚类图, 将研究区域分割为高高 (HH)、低低 (LL)、低高 (LH) 和高低 (HL) 4 种类型。2011—2021 年, HH 型和 LL 型是中部 6 省科技创新效率的主流集聚类型。其中, HH 型由破碎布局向组团集聚演化, 2011 年, 该类型零碎布局于临汾市、荆州市、鄂州市和马鞍山市, 到 2021 年, 该类型集聚布局于以开封市为代表的河南省东部和以荆州市为代表的湖北省南部等 8 市。这反映出河南省和湖北省科技创新效率的空间溢出效应和城市创新互动机制随时间推移而逐步增强。LL 型空间集聚格局与经济发展水平协同, 布局于中部 6 省的边缘地区。2011 年, 布局于湖南省西部和安徽省东部 6 市, 到 2021 年, 该类型城市集中布局于以湘西州为代表的湖南省西部地区 and 以大同市为代表的山西省北部地区。这些城市的经济发展水平相对滞后, 目前

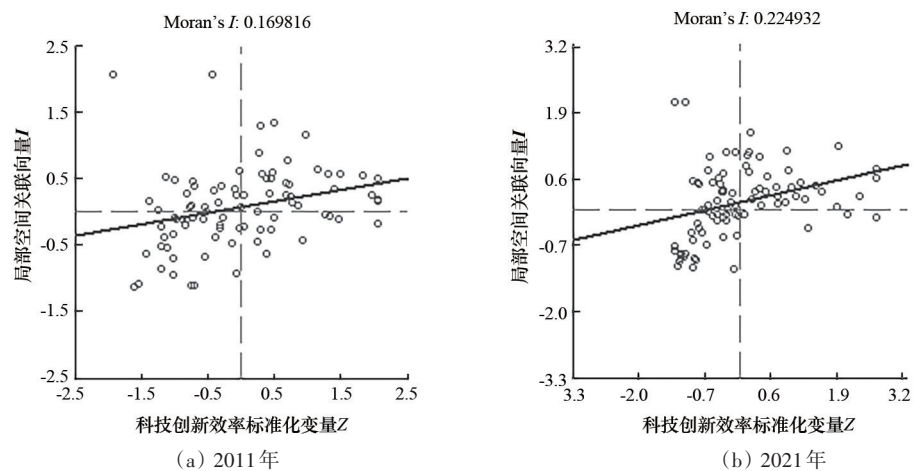


图 3 中部 6 省技术创新效率全局 Moran's  $I$  散点图

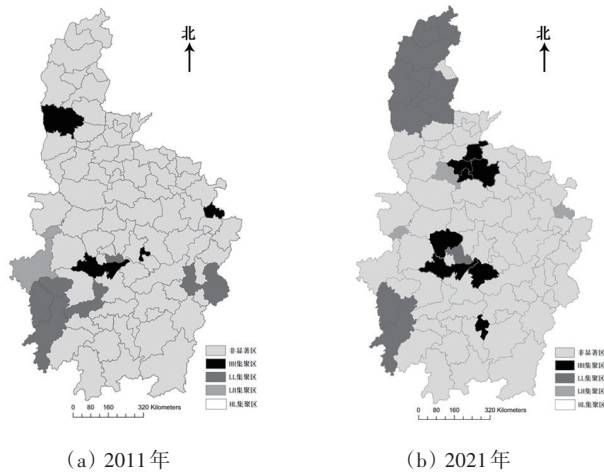


图4 中部6省技术创新效率LISA集聚图

正处于产业转型升级的接续期,科创资源利用水平较低,形成技术创新效率低值集聚区。此外,LH型集聚区维持破碎状态,由布局于恩施州、神农架林区转移至平顶山市、神农架林区和马鞍山市3地,这些地区受自身产业供血能力不强、经济发展水平落后、管理经验贫瘠等因素制约,与周围地区对比形成技术创新效率沉降区。

### 3.3 中部6省技术创新效率空间布局的机制分析

#### 3.3.1 技术创新效率的驱动因子动态探测

在中部6省发展实际和数据可得性基础上,选取对外开放水平、科技投入程度、产业现代化水平、企业经营效益、市场消费水平等要素作为驱动因子变量,并以进出口贸易总额占GDP比重、科技支出占财政支出比重、第三产业增加值占GDP比重、规模以上工业企业利润总额和社会消费品零售总额占GDP比重等指标分别反映上述驱动因子,建立驱动因子指标体系。利用地理探测器因子探测工具,

在对各驱动因子变量的自然断点分类的基础上,分析各驱动因子对于中部6省科技创新效率分布的解释力(表3)。结果显示,2011年,中部6省科技创新效率驱动因子的解释力排序为市场消费水平、产业现代化水平、企业经营效益、对外开放水平、科技投入程度。这说明,市场的消费水平极大程度地刺激了私营企业和公共部门产业技术升级和科技资源管理更新,促进科技创新效率的持续发展。到2021年,主导驱动因子由市场消费水平转为企业经营效益,对外开放水平、科技投入程度和产业现代化水平的解释力均呈现出不同程度的增长。这说明中部6省科技创新效率空间分布的驱动模式逐步由单要素主导驱动向多要素联合驱动转变。其中,企业经营利润增长吸引大量产业科技跟随者和模仿者,不断加强企业内部机制管理和科技投入,促进创新效率的持续发展,而地区的国家化分工、对科技开发的重视程度和现代化产业体系建设均以不同程度贡献地区科技创新效率变迁。

#### 3.3.2 技术创新效率的地理加权静态回归分析

利用地理加权回归模型分析2021年驱动因子在各地区的非平稳性特征,以各驱动因子为自变量,以技术创新效率值作为因变量,建立中部6省科技创新效率的GWR模型。回归结果显示,*Bandwidth*(带宽或相邻点数目)为440357.6,*AICc*值(性能度量值)为-173.2385,*Sigma*值为0.0811,各项指标均通过显著性检验,且不存在多重共线性, $R^2$ (拟合度)为0.9121,  $AdjustR^2$ (校正拟合度)为0.8899,模型拟合程度较优。图5反映了各驱动因子回归系数的地理分布。

表3 地理探测的驱动因子及探测结果

驱动因子	变量指标	指标涵义	P值	
			(2011年)	(2021年)
对外开放水平	进出口贸易总额占GDP比重	反映城市经济的外向发展水平	0.2347	0.4871
科技投入程度	科技支出占财政支出比重	反映政府对科研事业的关注和重视程度	0.1178	0.2317
产业现代化水平	第三产业增加值占GDP比重	反映城市现代服务业的发展水平	0.4129	0.5012
企业经营效益	规模以上工业企业利润总额	反映工业企业的盈利水平	0.3755	0.6721
市场消费水平	社会消费品零售总额占GDP比重	综合反映城市的市场潜力和居民生活质量	0.7511	0.6488

注:P值为各驱动因子的显著程度。同一年份下,P值越小则表明该驱动因子对科技创新效率的影响越大。

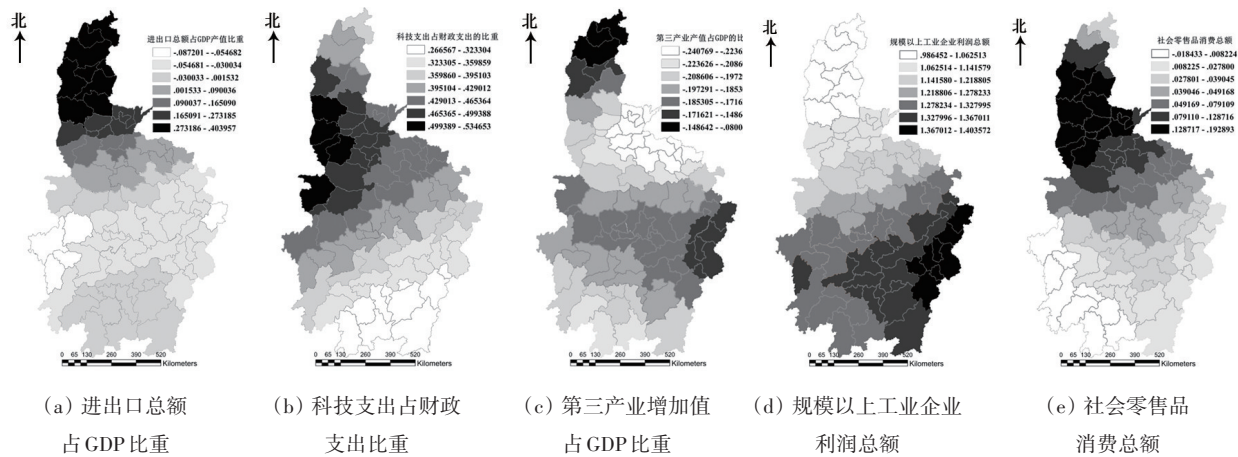


图5 中部6省2021年技术创新效率GWR模型回归系数空间分布

1) 进出口贸易总额占GDP比重的回归系数有正负之分,整体分布由中间地区向南北两侧递增。回归系数高值区集中分布于山西省,低值区布局于湖南省北部、湖北省南部、安徽省南部、江西省北部的部分城市。这主要是由于近年来这些地区的进出口贸易逐渐做大做强,工程机械、有色金属和特色农产品远销东南亚、拉丁美洲和欧洲,但受外贸产品的技术层次较低和生产流程标准化等因素制约,导致进出口贸易本身的技术需求不高,对于科技创新效率的增益效果不明显。而山西省作为资源转型大省,亟待建立新的经济增长点,发展外向型经济对于提振山西省产业经济,增强科技投入和管理水平有重要促进作用。

2) 科技支出占财政支出比重的回归系数总体呈现自北向南递减,高值区分布于山西省南部、河南省西部、湖北省北部5市。表明这些地区近年来不断优化科研项目经费管理水平,坚持推进财政科研项目经费管理改革,科研单位、科研人员和社会企业的创新活力充分释放,为该地区的科技创新效率提升奠定了充足基础。

3) 第三产业增加值占GDP比重的回归系数为负值,高值区在地理空间上分布较为破碎。这表明第三产业的发展对提升中部6省科技创新效率的贡献不足。原因可能在于中部多数城市仍是以生活性服务业为第三产业的主体形式,产品技术层次与东部沿海地区尚存差距,导致科技创新的现实需求不高,在一定程度上制约了科技创新效率的进步。

4) 规模以上工业企业利润总额的回归系数自东南向西北递减。高值区布局于江西省东部、安徽省南部,这些城市地处长江经济带,邻近粤港澳大湾区和长三角城市群,具有对外交流的区位优势,近年来逐步打开国际机械设备、轻工纺织市场,获得巨额利润收入,直接影响相关企业对科技研发和资金管理的重视程度,驱动区域科技创新效率的提升。

5) 社会消费品零售总额占GDP比重的回归系数以正向分布为主。空间分布由北向南递减,高值区布局于山西省南部和河南省西北部11市。究其原因在于随着该地区经济水平和居民可支配收入的提升,对新型科技产品的消费需求逐渐增强,为扩大科技产品市场容量和科技资源的优化配置起到正向推动作用。

## 4 讨论

科技创新效率涉及科技研发、产品生产和资源管理等诸多领域,是影响城市持续包容发展的重要支撑系统。本研究集成多种数理实证模型和空间计量方法,揭示了中部6省科技创新效率的时空演变特征及空间分布的内在驱动机制,能为丰富科技创新效率研究范畴和空间界限起到一定的贡献作用。

未来中部6省应把科技创新的工作重心放在优化科技投入质量和改善企业经营环境等方面。一方面,要加快落实国家创新驱动战略政策,协调

好科技研发投入和科技创新管理服务的均衡关系,不断驱动科技创新效率的发展;另一方面,对标东部发达省份,积极融入国家“一带一路”倡议、中部崛起及城市群建设的浪潮,不断优化市场环境,为中小微企业提供完善的政策服务和科技支撑服务,鼓励企业提升自主创新能力和制定产品技术改造计划,以高质量的企业经济发展带动区域创新实力和效率的不断提升。另外,本研究仍存在指标选取不充分、研究尺度偏宏观和机制构建不完善等不足,在研究数据可得条件下,将科技创新效率研究深入到中部6省内部城市群、都市圈等多元城市体系,是下一步工作的重点方向。

## 5 结论

以中部6省87市、州为研究对象,集成三阶段DEA模型、全局自相关、局部自相关、地理探测器和地理加权回归模型等方法,分析2011—2021年中部6省科技创新效率的空间集聚演化及驱动机制,得出以下结论。

1) 科技创新效率整体水平相对稳定,区域内中部城市的差异程度显著提高,空间分布模式逐步由“整体北强南弱、局部破碎分布”向以省会为中心的核心外围模式转变。

2) 科技创新效率分布的空间集聚性显著增强,HH型和LL型是主流集聚类型。其中,HH型由破碎布局向组团集聚演化,向河南省东部和湖北省南部加速布局,LL型空间集聚格局与经济发展水平协同,布局于中部6省的边缘地区,平顶山市、神农架林区和马鞍山市3地形成LH沉降区。

3) 驱动因子动态分析显示企业经营效益取代市场消费水平成为主导驱动因子,逐步由单要素主导驱动向多元要素联合驱动转变;地理加权回归分析显示,各驱动因子在不同城市的影响具有显著差异,形成因城市而异的科技创新效率静态驱动机制。

### 参考文献(References)

[1] 门洪华. 推动中国对外开放进入新时代——党的十八大

以来中国对外开放战略的总结与前瞻[J]. 社会科学, 2019, 461(1): 5-15.

[2] 曹贤忠, 曾刚, 司月芳, 等. 企业创新网络与多维邻近性关系研究述评[J]. 世界地理研究, 2019, 28(5): 165-171.

[3] Peng L, Lai L. A service innovation evaluation framework for tourism ecommerce in China based on BP neural network[J]. Electronic Markets, 2014, 24(1): 37-46.

[4] Zubizarreta M, Cuadrado J, Iradi J, et al. Innovation evaluation model for macro-construction sector companies: A study in Spain[J]. Evaluation & Program Planning, 2017, 61(4): 22-37.

[5] Winter S, Lasch R. Recommendations for supplier innovation evaluation from literature and practice[J]. International Journal of Operations & Production Management, 2016, 36(6): 643-664.

[6] Maghsoudi S, Duffield C, Wilson D. Innovation evaluation: Past, current models and a framework for infrastructure projects[J]. International Journal of Innovation Science, 2015, 7(4): 281-298.

[7] Sicheng W, Pingjun S, Feng S, et al. Direct and spillover effect of multi-dimensional urbanization on PM2.5 concentrations: A case study from the Chengdu-Chongqing urban agglomeration in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(20): 10609-10627.

[8] 陈红梅, 宁云才. 中国省域技术创新效率评价及比较研究[J]. 经济问题探索, 2011, 10(8): 66-70.

[9] 秦青. 区域工业企业技术创新效率及影响因素——基于三阶段SBM模型的分析[J]. 地域研究与开发, 2018, 180(2): 50-54.

[10] 陈羽洁, 赵红岩, 俞明传, 等. 中国创意产业创新效率及影响因素——基于两阶段DEA模型[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 117-125.

[11] 王保乾, 罗伟峰. 国家创新型城市创新绩效评估——以长三角地区为例[J]. 城市问题, 2018(1): 34-40.

[12] 陈红军, 谢富纪. 中国三大都市圈创新资源配置效率影响因素研究[J]. 上海管理科学, 2018, 40(2): 1-8.

[13] 王丽平, 周龙. 京津冀高技术产业技术创新效率评价及资源配置研究[J]. 科技管理研究, 2016, 36(8): 1-7, 13.

[14] 王玉梅, 姬璇, 吴海西. 基于三阶段DEA模型的创新效率评价研究——以节能环保上市公司为例[J]. 技术经济与管理研究, 2019, 11(3): 25-30.

[15] 焦晨洋. 我国区域科技创新效率的测算——基于三阶段数据包络分析方法[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2017, 30(3): 46-51.

- [16] 罗远业, 曹阳. 人力资源价格差距对区域技术创新绩效的影响[J]. 经济问题探索, 2017(6): 88-93.
- [17] 傅为忠, 聂锡云. 基于 StoNED-Tobit 模型的高端制造业科技创新效率研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(7): 93-100.
- [18] 张宁, 陈泽. 区域创新效率测度及动态演变分析——基于三阶段 DEA 与创新价值链视角[J]. 江苏商论, 2019, 11(3): 122-123.
- [19] 朱鹏颀, 刘东华, 黄新焕. 动态视角下城市科技创新效率评价研究——以福建九个地级市为例[J]. 科研管理, 2017, 38(6): 43-50.
- [20] 程广斌, 张雅琴. 丝绸之路经济带沿线省份科技创新效率及其影响因素[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(2): 17-23.
- [21] 张春梅, 张小林, 徐海英, 等. 基于空间自相关的区域经济极化结构演化研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 38(4): 557-563.
- [22] 刘尊雷, 张寒野, 袁兴伟, 等. 基于遥感影像的江西省水体资源和水产养殖结构空间异质性分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 161-174.
- [23] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [24] 王思成, 运迎霞, 贾琦. 基于“源一流一汇”指数分析的天津市中心城区生态韧性评价[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(1): 82-90.

## Spatial agglomeration evolution and driving mechanism of science and technology innovation efficiency in six provinces of central China

WANG Sicheng<sup>1</sup>, WEI Guoen<sup>2</sup>, GAO Mingming<sup>1,3\*</sup>

1. School of Architecture and Urban Planning, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2. College of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China

3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

**Abstract** Based on the panel data of 87 cities and states in six provinces in central China from 2011 to 2021, this paper integrates three-stage data envelopment analysis, global and local spatial autocorrelation methods to analyze the spatio-temporal evolution characteristics and agglomeration pattern of the efficiency of scientific and technological innovation for each city, and explores its dynamic and static driving mechanisms. The results show that the degree of regional differences in efficiency of scientific and technological innovation has increased and that the spatial distribution has gradually changed from "strong in the north as a whole and weak in the south, but different in parts" to the core and periphery of provincial capitals. Spatial agglomeration has increased, and different innovation driving mechanisms have been formed. To improve the efficiency of scientific and technological innovation in this region it is an important way to provide better policies and scientific and technological support services for small, medium and micro enterprises.

**Keywords** scientific and technological innovation efficiency; spatial autocorrelation; geographical detector; driving mechanism; six central provinces ●



(责任编辑 傅雪)