

城市科技创新效率与网络结构特征

——对国家级创新型城市的实证分析

刘锴¹ 周雅慧¹ 王嵩²¹

(1. 辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029;

2. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110819)

【摘要】: 以 2003—2017 年中国 75 个创新型城市面板数据为样本, 首先, 运用 SBM 超效率模型测度各城市科技创新效率; 其次, 基于修正引力模型测度城市间创新联系强度, 运用社会网络分析法, 从人才流动、资本流动和制度学习 3 个方面对创新型城市的网络结构及演变特征进行测度和分析; 最后, 利用考虑城市地理位置的地理加权回归 (GWR) 模型分析网络结构特征对科技创新效率的影响机制。结果发现: (1) 科研基础设施和人才流动中心度对城市科技创新效率提升具有促进作用, 而制度学习中心度、人才教育和产业结构为负向影响; (2) 随着时间推移, 城市人才流动中心度对科技创新效率提升具有积极促进作用且趋于强化, 资本流动中心度从具有微弱的积极作用趋向于在不同城市呈现出激励和阻碍两种效应, 制度学习中心度的负面影响亦趋于强化; (3) 各城市创新网络结构对科技创新效率的影响在测度期前期差别较小, 而在后期呈现出越发显著的空间差异性。

【关键词】: 科技创新效率 创新网络结构 GWR 模型 创新型城市

【中图分类号】: F290 **【文献标识码】:** A

0 引言

党的十九大报告把加快建设创新型国家作为现代化建设全局的战略举措, 坚定实施创新驱动发展战略, 突出以科技创新引领全面创新。随着我国城镇化水平的不断提升, 城市已成为科技创新的主战场^[1]。而我国城市数量众多, 不同类型城市承担着不同的任务和使命, 其中创新型城市以科技创新作为经济社会发展的核心驱动力, 对建设创新型国家具有显著支撑及引领作用^[2]。中国在 2008 年将深圳市设为第一个创新型城市并加快建设国家级创新型城市进程, 2016 年由科技部和国家发展改革委员会联合制定的《建设创新型城市工作指引》提出要鼓励建设若干具有强大带动力的创新型城市和区域创新中心。截至目前, 全国受科技部批准成为创新型城市试点的城市共有 78 个^[3], 已经基本上形成创新型城市发展创新网络, 为我国区域创新驱动发展提供了有力支撑。全面落实创新驱动发展战略目标, 需要立足于当前创新网络空间布局, 以创新型城市为核心全方位提升城市创新效率, 而提升城市创新效率的关键在于有效配置和管理科技要素, 以此发挥创新型城市在创新型国家建设中的引领和示范作用。科学评价科技创

作者简介: 刘锴(1976-), 男, 辽宁昌图人, 博士, 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心副教授, 研究方向为区域可持续发展;

周雅慧(1991-), 女, 山西大同人, 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心硕士研究生, 研究方向为区域经济发展;

王嵩(1991-), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 东北大学工商管理学院讲师, 研究方向为区域经济发展、科技创新。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571127, 41671119); 辽宁省社会科学规划基金项目(L18DJL005); 辽宁省教育厅项目(w201683605, H201783629); 辽宁省社科联项目(2016lsljdw-27); 中国博士后科学基金面上项目(2020M680960)

新效率及其影响因素对制定有效的科技创新政策,推动经济社会可持续发展具有重要意义。然而,科技创新效率提升是一个复杂过程,既受到城市内部诸多因素的影响,包括工业结构^[4]、对外开放度^[5]、高等教育发展水平^[6]、政府影响力^[7]等,也取决于城市所处位置,即地理位置和在创新网络中的位置。

由于地理空间具有异质性,地理位置因素及其内含的信息、资源、环境和社会关系等均会在不同程度上影响城市科技创新效率。地理位置优越的城市能够获取更多创新资源,汇聚更优质的创新人才。目前,有关地理位置对城市创新的影响大多从地理邻近性角度展开。吕国庆等^[8]从节点、部类、城市、区域4个层面,对长三角装备制造业产学研创新网络结构及空间特征进行分析,发现地理邻近性是影响行为主体建立创新合作联系的重要因素;Breschi^[9]运用专利引用评估知识流本地化程度,认为地理距离接近可以减少城市或企业间联系的交通成本,提高其获取资源及市场的便利度,有利于隐性知识资源吸收与利用;赵炎等^[10]采用负二项回归方法,探究企业区域位置及企业间地理邻近性对创新效率的影响,发现地理邻近性对科技创新效率的影响作用显著;Abramovsky^[11]通过研究地理邻近性对企业与大学间创新联系的影响,发现随着地理距离的增加,创新知识可靠性和适用性相应衰减,还会降低行为主体间产生创新联系的概率。

除地理位置影响外,科技创新效率还受城市所处创新网络位置的影响。随着科学技术资源的日渐丰富和科技创新外溢性日趋加强,城市创新要素除源于内部科学技术资源和条件外,还可以从其它城市获取^[12],使创新资源跨城市、跨区域流动更加显著^[13],网络位置被认为是重要的社会资本。黄中伟等^[14]引进“位置嵌入”的重要概念,研究网络位置对海外子公司决策和资源获取的影响,发现通常个体因占据良好的网络位置,其所获得的资源比本身拥有的资源更加丰富、重要。城市创新成果的生成与转化,依赖于创新网络中各种要素的优化配置和协同,其所处创新网络位置不同代表获得新知识的机会不同,而城市进行创新活动的关键性因素之一就是获取新知识^[15];Coleman^[16]的研究表明,高密度创新网络能使城市间产生大量创新联系,促使网络中资源和信息流动得更快。所以,在分析科技创新效率时,城市网络位置也应纳入影响机制框架;王璐等^[17]运用社会网络分析法探究丝绸之路经济带沿线国家农产品贸易网络结构特征发现,网络结构特征能够刻画网络中个体间的联系,进而说明个体在网络中的重要性,即一个城市在网络结构中与其它城市联系越紧密,其网络位置越优越,从中获取高质量知识资源的路径也就越多。因此,可通过网络结构特征考察网络位置对科技创新效率的影响。

当前,学者已针对地理位置或网络位置对创新产出的影响进行了大量研究,但仍然存在以下不足:①现有研究较少涉及城市地理位置和所在创新网络位置对科技创新效率的共同影响;②现有研究多集中在国家、城市或企业间的创新联系,以创新型城市作为研究对象的实证研究较少。鉴于此,本文从动态演化角度出发,首先运用SBM超效率模型测度2003—2017年中国国家级创新型城市的科技创新效率;其次,在用修正引力模型量化城市间创新联系强度的基础上,运用社会网络分析法,从人才流动、资本流动和制度学习3个方面分析创新型城市的网络结构特征及演变规律;最后,运用考虑地理位置因素的GWR模型分析创新型城市网络结构特征对科技创新效率的影响机制,可为合理构建城市创新网络结构、扩大协同创新效应、促进我国创新型城市网络发展提供参考。

1 模型方法与变量数据

1.1 地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)

为分析创新型城市地理位置及其所处创新网络位置对科技创新效率的影响,以及不同城市间的差异性,本文采用GWR模型对相关数据进行回归估计。GWR模型由Brunsdon等提出,其核心思想是将数据的地理位置引入回归参数中,观测由于空间地理位置变化而引起的参数变化。利用邻近观测值的子样本数据信息进行局域回归模拟分析,GWR模型有效扩展了利用全域信息估计常数的普通线性回归模型^[18],使估计结果更加精确,其一般形式为:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^K \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \epsilon_i \quad (1)$$

在式(1)中, y_i 、 x_{ik} 、 ε_i 分别为被解释变量、第 k 个解释变量和随机误差项, (u_i, v_i) (u_i, v_i) 是城市 i 的地理经纬度坐标, $\beta_k(u_i, v_i)$ $\beta_k(u_i, v_i)$ 表示第 k 个解释变量在城市 i 的回归系数, 且随着城市位置的变化而变化。

在运用 GWR 模型前, 首先需要确定权重和带宽。权重体现了观测位置的重要性, 根据齐亚伟等^[19]的研究, 本文采用一种近高斯函数——双平方函数确定权重, 其计算公式如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right]^2, & d_{ij} < b \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

在式(2)中, b 为带宽, 即城市 i 与城市 j 间距离 d_{ij} 及权重间函数关系的参数。带宽越大, 权重随距离的增减变动越慢, 反之亦然。Cleveland^[20]在 1979 年提出局域回归分析交叉验证法 (Cross Validation, CV), 以此确定合适的带宽。

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{\neq i}(b)]^2 \quad (3)$$

式(3)中, $\hat{y}_{\neq i}(b)$ $\hat{y}_{\neq i}(b)$ 是 y_i 的拟合值, 当 CV 最小时, 其对应的 b 值即为最优带宽。

在考虑地理因素的基础上, 为探究创新型城市所处创新网络位置对创新效率的影响, 以科技创新效率作为被解释变量 (y_i), 城市所处创新网络位置以其网络结构特征作为代理变量, 包括人才流动度中心度 (x_1)、资本流动度中心度 (x_2) 和制度学习度中心度 (x_3)。此外, 本文选择人才教育、产业结构、科研基础设施和对外开放水平作为控制变量, 并分别通过地方一般公共预算支出中的教育支出、第二产业占 GDP 的比重、互联网宽带接入用户数、当年实际使用外资总额表示。

在以上变量中, 控制变量为直接数据, 被解释变量通过 SBM 超效率模型测度, 解释变量通过修正引力模型和社会网络分析计算。为克服异方差的影响, 对被解释变量、解释变量和控制变量进行取对数处理。

1.2 SBM 超效率模型 (Super-Slacks Based Measure, S-SBM)

数据包络分析由美国著名运筹学家 Charnes 等^[21]提出, 是一种评价多投入和多产出决策单元效率的分析方法。在此基础上, Tone^[22]提出 SBM 模型, 将松弛变量考虑在内, 并在 SBM 模型的基础上提出 S-SBM 模型, 不仅考虑了松弛变量因素, 还可以区分有效决策单元大小, 在探究科技创新效率影响机制回归分析时可有效避免截断数据导致的偏误。模型具体如下:

假设有 n 个决策单元 (DMU), 每个决策单元都有 m 种输入和 s 种输出, 在规模报酬可变条件下的 S-SBM 模型为:

$$\begin{aligned} \rho^* = \min \rho &= \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{rk}} \\ \text{s. t. } &\sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ &\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk} \\ &\sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j = 1 \\ &\lambda, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \\ &i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, ρ^* 为效率值, m 和 s 分别为投入、产出变量的个数, s_i^- 和 s_i^+ 分别是投入、产出变量的松弛变量。 $\rho^* \geq 1$ 时表示决策单元达到 DEA 有效状态, $\rho^* < 1$ 时表示决策单元未达到 DEA 有效状态。

科技创新是一个多投入和多产出的复杂系统, 参考晏蒙等^[23]、柴玮等^[24]关于科技创新效率的研究, 本文从科技投入与科技产出两个方面选取相应指标, 对中国 75 个创新型城市的科技创新效率进行估计, 具体指标如表 1 所示。

表 1 科技创新效率评价指标体系

要素	指标	代理变量	意义
投入	X_1	科技从业人数(万人)	人力投入
	X_2	固定资产存量(万元)	资本投入
	X_3	地方公共财政支出中的科学技术支出(万元)	政府支持
产出	Y_1	论文数(篇)	创新成果
	Y_2	专利授权数(项)	

其中, 投入指标主要包括:①人力投入。本文选取科技从业人数表征, 主要反映城市科技活动和研发活动实力;②资本投入用固定资产存量表示, 其为城市科技创新活动提供物质保障;③地方公共财政支出中的科学技术支出是政府财政预算内安排的科研经费支出, 代表政府及其相关部门对科技活动的支持。

产出指标主要包括:①论文数反映城市科研创新水平及创新主体素质, 同时论文代表新知识产出, 论文数体现了知识产出活跃程度;②将专利授权数作为科技创新产出指标尽管存在一定的局限性, 但由于专利数据易于获取, 专利和技术创新关系密切, 且专利标准变化缓慢, 所以用专利测量技术创新产出仍然可靠^[25]。另外, 由于申请专利并不一定都能通过核查, 因此专利授权数更能体现地区创新程度^[26]。

1.3 基于修正引力模型的创新联系强度

城市间创新联系实质上是创新资源相互作用的结果。城市研究中常采用“属性数据”, 而社会网络分析研究一般采用“关系数据”, 借助修正引力模型可将“属性数据”转换为“关系数据”^[27], 用以反映不同创新型城市间创新的相互作用程度。基础引力模型如下:

$$F_{ij} = k \frac{M_i m_j}{D b_{ij}} \tag{5}$$

在式(5)中, F_{ij} 为城市 i 、 j 间的创新联系强度; M_i 、 m_j 分别表示城市 i 和 j 根据不同测量维度所需选取的变量; D_{ij} 表示城市 i 、 j 间的距离; b 为距离衰减系数, 一般取 2; k 为经验常数, 一般取 1。

创新网络包括诸多创新要素, 其中人才、资本和政府制度既是评价科技创新效率的投入要素, 也是城市间创新要素动态流动最具代表性的表征变量^[28], 最有可能对城市间创新联系产生影响。因此, 本文从人才流动、资本流动和制度学习 3 个维度测度创新型城市间的创新联系强度, 与科技创新效率的 3 个投入要素相对应, 公式如下:

$$TF_{ij} = \frac{W_i P_j}{D_{ij}^2} \quad (6)$$

在式(6)中, W_i 为城市 i 的工资水平, 用在岗职工平均工资表征; P_j 为城市 j 的创新人才数量, 用科技从业人数表征; TF_{ij} 表示城市 i 的工资水平对城市 j 人才流动的吸引强度。这一公式是基于人才向薪资更高地区流动的特征。

$$CF_{ij} = \frac{R_i I_j}{D_{ij}^2} \quad (7)$$

在式(7)中, R_i 为城市 i 的市场活跃度, 用社会消费品零售总额表征; I_j 为城市 j 的资本实力, 用全社会固定资产投资总量表征; CF_{ij} 为城市 i 市场活跃度对城市 j 资本流动的吸引强度。这一公式是基于资本向市场活跃度更高地区流动的特征。

$$RF_{ij} = \frac{E_i G_j}{D_{ij}^2} \quad (8)$$

在式(8)中, E_i 为城市 i 的创新支出, 用公共财政支出中的科学技术支出表征; G_j 为城市 j 的经济效益, 用地区生产总值表征; RF_{ij} 为城市 i 对城市 j 制度学习的吸引强度。这一公式是基于地方政府向经济发展水平较好地区学习和模仿的特征。

1.4 社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)

城市创新网络被定义为由城市内或城市间正式或非正式合作(政府、研究机构和公司等)形成的显性或隐性科学技术知识网络^[29], 是提升区域创新能力的重要支撑, 而社会网络是由多个点和各点间连线组成的几何形状, 与创新网络分析相契合。社会网络分析法由布朗于1930年最先提出, 是指运用定量指标描述个体间互动结构关系和发展变化以反映网络结构整体特征, 并揭示个体在网络结构中的地位。社会网络分析为认识创新网络提供了一系列指标, 主要包括整体网络结构和个体节点结构两部分。其中, 整体网络结构分析主要包括网络密度、网络关联度、核心—边缘、凝聚子群等指标, 个体节点结构分析主要包括中心度和结构洞两个指标^[27]。基于整体与个体相结合角度, 本文分别选取代表整体网络结构分析的网络密度以及代表个体节点结构分析的中心度两个方面研究中国75个国家级创新型城市间创新网络的空间结构及演变特征。

网络密度是指创新网络中实际包含的关系系数与理论上可能存在的最大关系系数的比值, 可表征创新网络中各城市间关联的紧密程度。网络密度取值范围为 $[0, 1]$, 其值越接近于1, 表明网络密度越高^[30], 节点间联系越紧密, 即整体创新网络对个体创新城市创新行为产生影响的可能性越大, 各创新城市间的交互程度也越强^[31]; 其值越接近于0, 则情况恰好相反。本文中的创新关系网络为有向关系网络, 公式为:

$$D = \frac{m}{n(n-1)} \quad (9)$$

在式(9)中, D 为网络密度, m 表示网络中包含的实际关系系数, n 表示创新城市数, 则 $n(n-1)$ 为理论上网络包含的最大关系系数。

中心度是对个体权力的量化分析, 用来衡量某一节点在网络中的地位, 主要包括度数中心度、中间中心度和接近中心度3种。本文选用度数中心度衡量各城市在创新网络中的中心位置情况, 若一个城市与多个城市存在直接创新联系, 则表明该个体城市处于整体创新网络中心位置^[32], 即该城市在创新网络中拥有较大权力, 而处于网络边缘位置的行动者则拥有较小权力, 与其它城市的关联较少^[33]。当网络规模不同时, 不同网络点的绝对度数中心度没有可比性, 因此本文采用相对度数中心度^[34], 其公式如下:

$$DC_i = \frac{r_{ij}}{n-1} \quad (10)$$

在式(10)中, DC_i 为城市 i 的相对度数中心度, 是指城市 i 的绝对度数中心度与网络中点最大可能的度数之比; r_{ij} 表示城市 i 与其它城市间的创新联系数量, 即城市 i 的绝对度数中心度; n 表示创新城市数。

1.5 数据来源

本文选取经科技部批准建立的中国创新型城市为研究对象, 鉴于原始数据可得性及数据统计口径一致性, 石河子、昌吉和拉萨 3 个城市不包含在内。本文研究的创新型城市共有 75 个, 时间跨度为 2003—2017 年。本文各项指标原始数据主要来源于各年《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴和相关统计公报, 对于缺失数据采用指数平滑法补全。此外, 地理加权回归模型中的地理经纬度坐标数据来源于城市地区经纬度查询网, 创新联系度计算中的城市间距离数据来源于全国城市里程查询网。

2 描述性分析

2.1 创新型城市科技创新效率

不同城市创新效率规模报酬一般认为可变, 因此利用规模报酬可变 (VRS) 条件下非导向 SBM 超效率模型测算国家级创新型城市各年的科技创新效率, 并对整体及东中西部的科技创新效率进行比较和分析, 如图 1 所示。

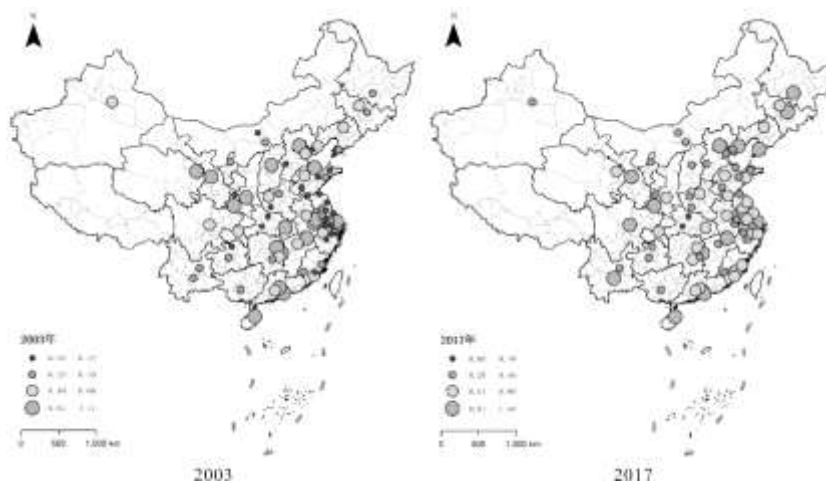


图 1 中国 75 个创新型城市科技创新效率值

从图 1 可以发现, 2003—2017 年各城市科技创新效率整体呈上升态势, 但在各年份平均效率值中, 2017 年最高值为 0.69。根据王少剑^[35]关于超效率 SBM 模型的研究, 效率值小于 1 时表示决策单元未达到 DEA 有效状态, 即效率值处于较低水平, 说明创新型城市整体创新投入要素利用率不足, 科技创新资源配置不合理。区域科技创新效率具有差异性, 东部地区科技创新效率值增长较快, 处于领先地位; 中部地区效率值后期低于西部, 在整个测度期内平均值最低。究其原因在于: 一方面可能是国家西部大开发建设发挥了作用^[36]; 另一方面, 西部地区西安、兰州、成都、重庆等市科技创新效率值较高, 有效促进了西部科技创新效率提升, 而中部地区高科技创新效率值城市较少, 整体科技创新效率一直不温不火。

2.2 创新型城市间创新网络结构特征

基于修正引力模型得到 2003—2017 年各城市间创新联系度关系数据,遵循保留有效信息性和可比性原则,并根据反复实验选取 0.350 作为人才流动方面的创新联系度阈值,选取 3.916 作为资本流动方面的创新联系度阈值,选取 0.023 作为制度学习方面的创新联系度阈值。本文借助 Ucinet 软件,分别将人才流动、资本流动和制度学习的创新联系度数据进行二值化处理,即大于或等于阈值的数据用“1”代替,小于阈值的数据用“0”代替,构建 75 个城市测度期内的网络二分矩阵,并以二分矩阵作为输入数据进一步计算网络密度和中心度,从这两个维度对创新网络结构特征进行分析。

(1) 创新网络密度演变。

根据公式(9)及各个二分矩阵,通过 Ucinet 软件计算得到 2003—2017 年 75 个创新型城市在人才流动、资本流动和制度学习 3 个方面的创新网络密度值,结果见图 2。整体而言,2003—2017 年人才流动、资本流动和制度学习网络密度均呈现增长态势,说明在创新网络空间中各城市间创新关联逐渐增强,创新网络结构趋于紧密,创新交往活动越发频繁,有助于整体创新发展。但人才流动方面的网络密度值不高,在整个测度期内,其最大值仅在 2017 年达到 0.32,说明 2003 年以来创新型城市间人才流动方面的创新联系还处在一种弱联结分布状态,需要进一步加强。

(2) 创新网络结构演变。

为进一步揭示创新网络的内在结构特征,本文选用度数中心度刻画不同城市在网络中的重要性。为使不同时点的创新网络中心度具有可比性,本文选用度数中心度指标为相对度数中心度。利用 Ucinet 软件中的 Network/Centrality 功能计算得出各节点城市 2003—2017 年度数中心度在人才流动、资本流动、制度学习 3 个维度的中心度值(见图 3),从而揭示测度期内创新型城市网络中心度变化的基本规律。

在创新网络人才流动方面,2003 年除北京、上海和南京外,各城市的度数中心度普遍较低且空间差异较大,西部地区城市度数中心度极低。其中,南宁、海口和乌鲁木齐的度数中心度为 0,高值区主要集中在京津冀和长三角地区以及其它地区部分省会城市,表明 2003 年人才流动核心节点城市中心性较弱,辐射效应与带动能力有限,各节点城市网络地位相差悬殊,两极分化现象严重。在测度期间内,各城市均呈现波动上升趋势,继北京、上海、天津之后,西安、成都、武汉、广州、杭州等省会城市脱颖而出并带动周围城市增长,表明人才流动度数中心度有从东部地区向中、西部地区扩散的趋势,主要核心节点城市溢出效应显著,网络整体发展趋于均衡。但乌鲁木齐、吉林和哈尔滨在整个测度期内最高值均未超过 10,成为制约创新网络人才流动发展的重要症结。

在创新网络资本流动方面,2003 年所有样本城市的度数中心度起点普遍偏低,仅有东部地区上海、南京和苏州 3 市的值超过 20,其中上海最高值为 24.32;而分布在中部地区如内蒙古、山西、河南、江西、湖北部分非省会城市以及西部地区贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆所有样本城市均为 0。这表明,2003 年在创新网络资本流动方面各城市的中心性都较弱,网络地位相差不大。在测度期间内,上海、北京、天津以及位于江苏、浙江、山东等东部地区的城市形成高值区,与其它地区城市拉开距离。后期高值区城市增长速度由快速趋于平缓,中心度值集中在 75~100 之间,而其它城市的值则分散在 0~60 之间,表明网络中核心节点城市中心性增强,但两极分化现象严重。2017 年,之前处于高值区的城市增长速度由快速趋于平缓,而一些中西部城市如衡阳、宝鸡、贵阳等增势明显,并且有望在后期进入高值区。这表明,创新网络资本流动重心在向中西部扩散过程中,两极分化态势有所缓和,网络整体发展越发均衡。值得注意的是,吉林和哈尔滨资本流动度数中心度在整个测度期都处于较高水平,不同于人才流动度数中心度的“拖后腿”状态。

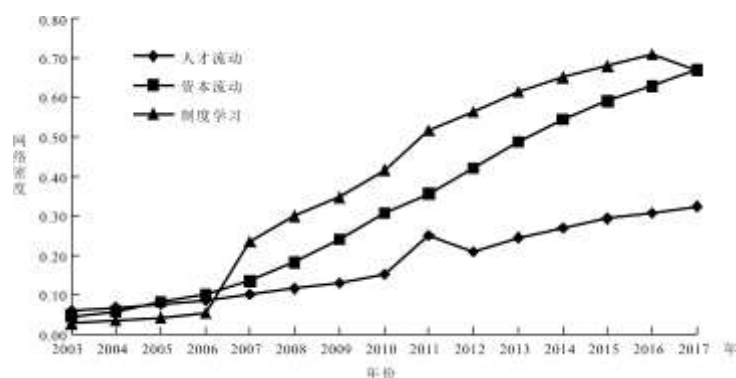


图 2 创新网络密度特征

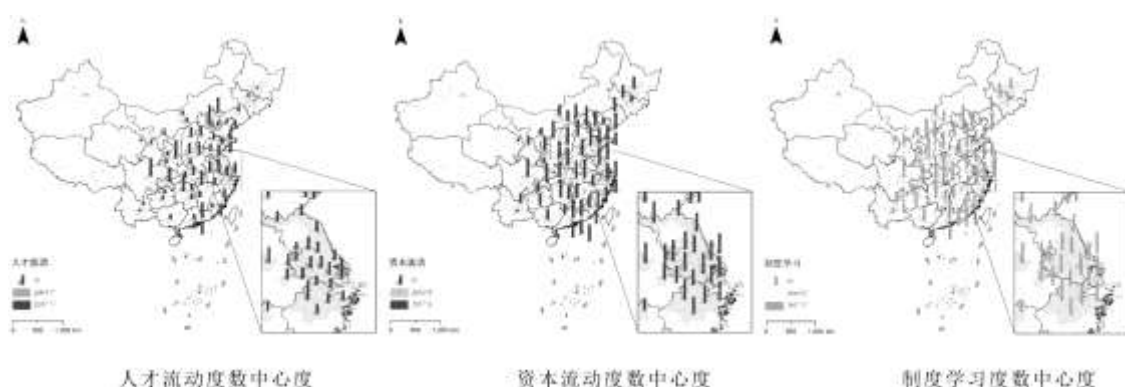


图 3 创新网络度数中心度

在创新网络制度学习方面,2003 年各城市的度数中心度总体较低,除上海(41.89)和北京(24.32)外,其它几个度数中心度相对较高的城市集中在苏杭地区,但均不超过 20,并且约 90%城市的度数中心度在 10 以内,表明 2003 年网络中的核心节点为上海和北京,且城市间的空间差异不明显。测度期间内除部分西部地区城市变化幅度较小外,大部分城市的度数中心度飞速增长。原因在于,各城市纷纷加大了科学技术支出,使得创新网络制度学习方面的度数中心度在整体上得到大幅提升。与此同时,网络整体开始分化出高值区(包括北京、上海、天津及东部地区城市)和低值区(包括西部地区大部分城市),西部地区逐渐与中东部地区拉开差距。2017 年,高值区城市增长趋缓,而低值区城市的度数中心度虽然仍然不及高值区,但增长幅度却较大。这说明,西部地区城市在加快向中、东部地区核心节点靠拢,主要核心节点城市溢出效应显著,使周围地区受益并呈组团式发展,整体网络发展与之相比更加成熟。

整体而言,2003—2017 年各城市的度数中心度都有一定程度提升,并且整体保持上升趋势,表明各城市与其它城市的创新联系程度不断提高,度数中心度均值也显示创新型城市创新网络内部联系紧密度不断增强。从各城市对比情况看,北京、上海和南京在整个测度期内人才流动、资本流动和制度学习 3 个维度上的平均度数中心度都处于较高水平,说明这 3 个城市始终处于创新网络核心位置。在空间维度上,东部地区的核心地位优于中、西部地区。

3 影响机制

3.1 模型检验

运用 GWR 模型测度影响机制的重要前提是空间数据是否存在空间自相关性,如果存在空间自相关,则使用 GWR 模型建模效果

更好, 否则 OLS 模型更合适^[37]。因此, 在分析人才流动中心度、资本流动中心度和制度学习中心度对科技创新效率的影响前, 先利用全局莫兰指数 (Global Moran' sI) 对科技创新效率进行空间自相关检验。结果见表 2。

从表 2 可以看出, 仅 2007 年科技创新效率的 Moran' sI 值小于 0. 2, 其它年份大多保持在 0. 4 以上, 说明中国 75 个创新型城市的科技创新效率具有明显的空间自相关性, 各城市在科技创新方面存在空间联系。因此, OLS 模型中残差项独立假设无法满足, GWR 模型允许一些不平稳的数据直接被模拟, 用局部参数估计代替全局参数估计^[38], 验证了本文使用 GWR 模型的合理性。

3. 2 网络结构特征对协同创新效应的影响及其空间差异性

本文运用 GWR4 软件对 2003—2017 年中国 75 个创新型城市科技创新效率影响因素进行回归, 数据对应关系如表 3 所示, 其中 2003 年和 2017 年的回归结果见图 4。

表 2 2003—2017 年创新型城市科技创新效率的 Moran' sI 值

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Moran' sI	0. 217	0. 421	0. 237	0. 300	0. 129	0. 235	0. 453	0. 462	0. 541	0. 719	0. 814	0. 568	0. 678	0. 715	0. 693

表 3 数据—城市对应关系

区域	序号	城市
西部	1-16	呼和浩特、包头、南宁、重庆、成都、贵阳、遵义、昆明、玉溪、西安、宝鸡、汉中、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐
中部	17-35	太原、长春、吉林、哈尔滨、合肥、芜湖、马鞍山、南昌、景德镇、萍乡、郑州、洛阳、南阳、武汉、宜昌、襄阳、长沙、株洲、衡阳
东部	36-75	北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、沈阳、大连、上海、南京、无锡、徐州、常州、苏州、南通、连云港、盐城、扬州、镇江、泰州、杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、福州、厦门、泉州、龙岩、济南、青岛、东营、烟台、潍坊、济宁、广州、深圳、佛山、东莞、海口

图 4 显示, 科技创新效率各影响因素在 GWR 估计中表现出明显的变化趋势和空间差异性, 即各因素对不同城市科技创新效率的影响方向和强度不同。

(1) 在人才流动中心度方面, 随着时间的推移, 各城市人才流动中心度对科技创新效率的促进作用不断增强, 说明人才流动通过对知识、技术的承载和溢出效应提高了城市知识创造与流动能力, 对各创新型城市科技创新效率提升具有明显促进作用。西部地区回归系数增长幅度最大, 特别是乌鲁木齐, 从 2003 年的 0. 020 增长到 2017 年的 0. 806, 可能是由于国家西部大开发建设人才工程为西部地区输送了大量高层次人力资本, 西部人才生存发展环境有了很大改善, 基本稳定了各路人才队伍。同时, 不少青年人加入到西部志愿者服务队伍中, 为西部地区发展注入了新生力量, 这对西部地区科技创新效率的提升作用非常大; 东部地区人才流动更加快捷, 所以人才流动中心度对科技创新效率的促进作用相对稳定。

(2)在资本流动中心度方面,2003年其对科技创新效率具有微弱的促进作用,到2017年大部分城市的回归系数变负,特别是对于长三角地区来说,资本流动并没有促进科技创新效率提升,反而因过度集聚产生人员冗余或经费利用效率低下等问题。并且,中国大部分固定资产投资流向重工业,只有少部分用于支持科技创新,因此造成资本流动妨碍城市创新能力形成和发展,对城市创新能力未起到明显促进作用。而呼和浩特、包头、兰州、西宁、银川和乌鲁木齐等市的资本深化对当地科技创新效率提升起到一定的正向影响,表明这些城市资本有机构成还没有达到饱和状态。

(3)在制度学习中心度方面,在测度期内其对科技创新效率的负向作用越来越明显,可能是由于创新制度学习是一个需要不断探索、试错、完善的过程,一般来说,其成效不会很快凸显出来,可能在经历很长一段时期后才显现出潜在促进作用。在空间变化方面,制度学习中心度对科技创新效率的影响存在较大的空间非稳定性,其在西部地区、中部地区河南省及东部地区京津冀和山东省所发挥的负向作用更大,原因可能是这些地区和城市在效仿或者借鉴其它地区、城市创新制度过程中出现了一定的偏差,亟需进一步完善;抑或是由于新制度仍处于适应阶段,在创新政策实践中过于追求量化指标,出现了求速度轻质量的现象。

(4)从控制变量看,2017年人才教育对科技创新效率作用的回归系数与2003年相比有显著提升,从具有较大阻碍作用变为对不同城市呈现出激励和阻碍两种效应,且京津冀和东北地区的回归系数较低,而乌鲁木齐远高于其它城市,说明近年来国家对人才教育十分重视,尤其是针对西部地区制定了一系列人才培养政策,如推进“西部之光”人才培养计划等,但要发挥人才教育对科技创新的作用,仍需继续加大人才投入,特别是针对京津冀和东北地区等重要工业地区而言尤其如此。2017年,产业结构方面除乌鲁木齐的回归系数有较大幅度上升外,其它各城市均在2003年负数的基础上下降了较为相似的幅度,且东北地区、京津冀、山东省一直处于较低水平。原因在于,近些年中国供给侧改革的一大重点任务就是调整产业结构,而产业结构调整需要经过很长一段时期才能显现成效。2003—2017年,科研基础设施对科技创新的促进作用有所减弱,但仍处于较高水平,说明各城市对科研基础设施投放予以高度重视,但基础设施日渐完备,其对科技创新工作的推进作用日益达到饱和。对外开放有利于加强科技创新交流与合作,随着中国对外开放水平的不断提升,其对科技创新效率的促进作用越来越明显。在中国75个创新型城市中,只有乌鲁木齐的回归系数远低于其它城市,因为乌鲁木齐所在的新疆深居亚洲内陆,与科技创新发达国家或地区缺乏深入交流。

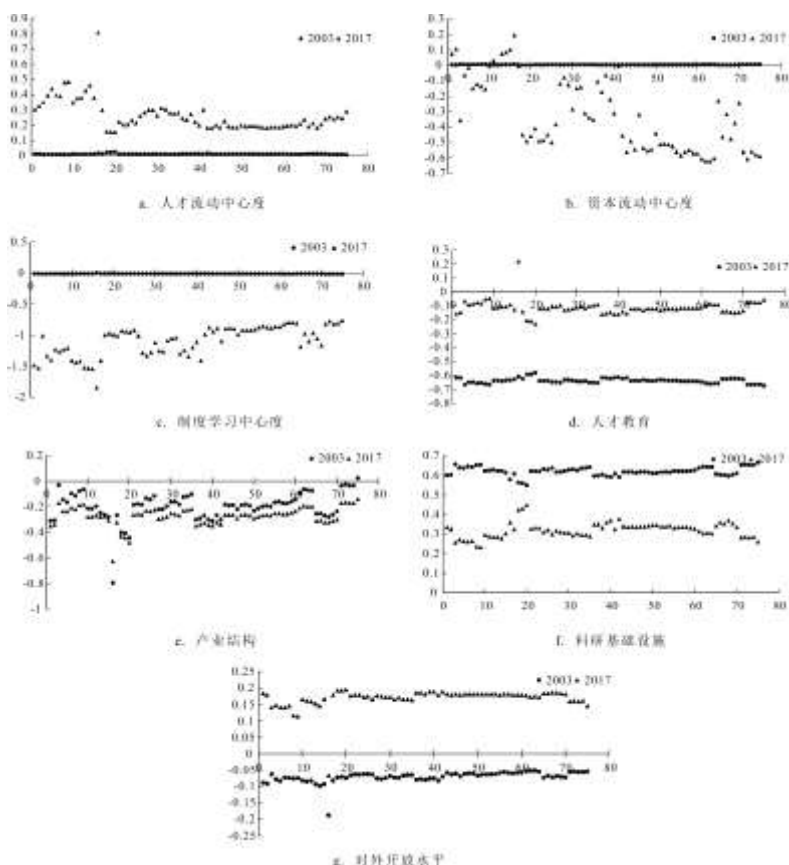


图 4GWR 模型回归结果

4 结语

4.1 研究结论

发挥协同创新效应的关键在于形成结构合理、运行高效的创新网络体系。本文以中国 75 个国家级创新型城市为研究样本,采用 2003—2017 年面板数据,以 S-SBM 模型测度创新型城市科技创新效率作为被解释变量;在修正引力模型量化人才流动、资本流动和制度学习城市间创新联系强度的基础上,以 SNA 测算的创新联系度中心度作为解释变量;以人才教育、产业结构、科研基础设施和对外开放水平作为控制变量;通过 GWR 模型测度网络结构特征对科技创新效率的影响机制,得出以下几点结论:

(1) 整体回归结果显示,2003 年人才流动中心度回归系数整体大于资本流动中心度且为正,制度学习中心度回归系数在三者中最小且为负;到 2017 年,资本流动中心度回归系数整体大于制度流动中心度且为负,人才流动中心度回归系数在三者中最大且为正。综合考虑各变量可以看出,科研基础设施和人才流动中心度对科技创新效率提升具有促进作用;与之相反,制度学习中心度、人才教育和产业结构则没有发挥出很好的效用,对科技创新效率的影响为负。

(2) 随着时间的推移,创新型城市间的创新网络整体呈现出前期快速扩展和后期缓慢增长的变化过程,说明创新网络空间中各城市间的创新关联逐渐增强,创新网络结构趋于紧密。创新网络结构中各要素对科技创新效率的影响在不同方向 and 不同强度方面产生了变化:人才流动中心度对科技创新效率提升具有积极作用且趋于强化;资本流动中心度对科技创新效率提升从具有微弱的积极作用趋向于在不同城市呈现出激励和阻碍两种效应;制度学习中心度对科技创新效率提升存在负面影响且趋于强化。

(3) 各城市人才流动中心度、资本流动中心度和制度学习中心度对科技创新效率的影响在测度期前期差别较小,在后期呈现出显著的空间差异性。在人才流动中心度方面,其对科技创新效率的促进作用由大到小依次为西部地区、中部地区和东部地区,而对东部地区大部分城市的促进作用比较稳定;在资本流动中心度方面,其对科技创新效率的影响存在较大的空间非稳定性,仅对西部地区 6 个城市起到促进作用;在制度学习中心度方面,在西部地区、中部地区河南省及东部地区京津冀和山东省,制度学习中心度所发挥的负向作用更大。

4.2 政策建议

基于创新型城市间网络结构特征对科技创新效率影响的时空差异分析结果,本文提出以下政策建议:

(1) 城市间人才流动有助于合理配置创新资源,逐步缩小城市间创新能力差距。鉴于人才流动中心度对科技创新的积极影响,各城市应全面聚焦人才培养及人才交流。中国西部地区与其它地区间的人才流动极为缓慢,不利于西部地区摆脱目前的低创新水平。因此,可通过改善城市间人才交流机制或者深化户籍制度改革,鼓励城市间协同创新,打破城际人才流动壁垒,以此增加城市间的知识溢出和创新互动。

(2) 资本流动中心度对科技创新的影响在不同城市表现出明显的空间差异性,各城市应依据自身资本集聚状态把握差异化发展。对于资本有机构成还未达到饱和状态的西部地区而言,在短时间内仍然可以凭借资本积累实现资本偏向型技术进步;对于资本过度集聚的中、东部地区而言,要在资本投入总量及结构上进行科学调整,提高资本利用效率,以实现其激励城市科技创新能力发展的效用;同时,还应依靠新兴产业发展,引导物质资本偏向型技术进步向人力资本偏向型技术转变。

(3) 适应城市发展的创新制度体系对提升科技创新效率至关重要。鉴于制度学习中心度对各城市科技创新效率的阻碍作用趋于强化,因此各城市应遵从其要素禀赋结构,找准自身优势及在全国科技创新发展网络中的最佳位置,因地制宜地采取适合自身

的创新制度,或在已有制度基础上进一步完善,形成行之有效的创新政策体系和治理架构。

(4) 一个城市成长为创新型城市是内生驱动力不断转换和升级的过程,并且在创新网络结构中扮演着不同的角色。各城市应探索形成各具特色的创新发展模式以及横向错位发展、纵向分工协作的发展格局,加强城市内及城市间各类创新资源开放共享,促进创新资源优化配置和高效利用,加快创新成果生成、转化及溢出,使之发挥协同创新效应。

4.3 研究贡献

科技创新是提高综合国力的关键,是社会生产方式和生活方式变革进步的强大引领。本文的边际贡献在于:①基于目前缺乏直接统计城市间人才流动、资本流动、制度学习数据的现实情况,根据人才、资本流动特征和制度可复制、推广性,选取相应指标并通过修正引力模型量化这 3 个方面的创新联系强度,为创新网络结构及演变特征测度提供了参考;②在兼顾城市地理位置的同时,通过网络结构特征考察网络位置对科技创新效率的影响,与已有研究^[8,16]仅反映地理邻近性或网络位置对创新产出的影响相比,本文体现了两种不同位置的共同影响,为政策制定提供了更具针对性的建议;③创新型城市在经济社会发展过程中更加注重科技创新的驱动作用,本文以创新型城市作为研究对象,与已有研究相比^[4],对其它城市提升科技创新效率更具有启示意义。

4.4 不足与展望

本研究仍存在一些不足:①科学量化城市科技创新效率仍需进一步探索,其评价体系有待完善;②本文揭示不同创新型城市在网络中的重要程度,即创新网络的内在结构特征,但创新网络中是否存在创新联系更加紧密、创新合作更加频繁的组团现象,且以何种形式存在等问题仍需进一步关注。

参考文献:

- [1]叶晓倩,陈伟.我国城市对科技创新人才的综合吸引力研究——基于舒适物理论的评价指标体系构建与实证[J].科学学研究,2019,37(8):1375-1384.
- [2]中华人民共和国科学技术部.国家发展改革委关于印发建设创新型城市工作指引的通知[EB/OL].http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2016/201612/t20161213_129574.htm,2016,12.
- [3]李政,杨思莹.创新型城市试点提升城市创新水平了吗[J].经济学动态,2019,60(8):70-85.
- [4]樊华,周德群.中国省域科技创新效率演化及其影响因素研究[J].科研管理,2012,33(1):10-18.
- [5]吴传清,邓明亮.科技创新、对外开放与长江经济带高质量发展[J].科技进步与对策,2019,36(3):33-41.
- [6]李恒,杜德斌,肖刚.区域知识创新系统中科技创新与高等教育的融合关系研究——基于长三角城市群的案例研究[J].上海经济研究,2015,32(5):86-94.
- [7]叶祥松,刘敬.政府支持、技术市场发展与科技创新效率[J].经济学动态,2018,59(7):67-81.
- [8]吕国庆,曾刚,郭金龙.长三角装备制造业产学研创新网络体系的演化分析[J].地理科学,2014,34(9):1051-1059.
- [9]BRESCHI S,LISSONI F.Mobility of skilled workers and co-invention networks:an anatomy of localized knowledge

flows [J]. Journal of Economic Geography, 2009, 9 (4) :439-468.

[10]赵炎,王冰,郑向杰.联盟创新网络中企业的地理邻近性、区域位置与网络结构特征对创新绩效的影响——基于中国通讯设备行业的实证分析[J]. 研究与发展管理, 2015, 27 (1) :124-131.

[11]ABRAMOVSKY L, SIMPSON H. Geographic proximity and firm-university innovation linkages: evidence from Great Britain [J]. Journal of Economic Geography, 2011 (11) :949-977.

[12]白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究, 2015, 61 (7) :174-187.

[13]李哲, 申玉铭, 曾春水. 中国省域科技创新模式及其时空演变[J]. 地理研究, 2018, 37 (6) :1223-1237.

[14]黄中伟, 王宇露. 位置嵌入、社会资本与海外子公司的东道国网络学习——基于 123 家跨国公司在华子公司的实证[J]. 中国工业经济, 2008, 32 (12) :144-154.

[15]WASSERMAN S, FAUST K. Social network analysis: methods and applications [M]. Cambridge University Press, 1994.

[16]COLEMAN J S. Foundations of social theory [M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994.

[17]王璐, 刘曙光, 段佩利, 等. 丝绸之路经济带沿线国家农产品贸易网络结构特征[J]. 经济地理, 2019, 39 (9) :198-206.

[18]杨丽霞, 杨桂山, 姚士谋. 基于 ESDA-GWR 的粮食单产及其驱动因子的空间异质性研究[J]. 经济地理, 2012, 32 (6) :120-126.

[19]齐亚伟, 陶长琪. 环境约束下要素集聚对区域创新能力的影响——基于 GWR 模型的实证分析[J]. 科研管理, 2014, 35 (9) :17-24.

[20]CLEVELAND W S. Robust locally weighted regression and smoothing scatter plots [J]. Journal of the American Statistical Association, 1979, 74 (12) :829-836.

[21]CHARNES A, COOPER W W, PHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operation Research, 1978 (2) :429-444.

[22]TONE K. A slack-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operation Research, 2002, 143 (3) :32-41.

[23]晏蒙, 孟令杰. 基于 DEA 方法的中国工业科技创新效率分析[J]. 中国管理科学, 2015, 23 (SI) :77-82.

[24]柴玮, 申万, 毛亚林. 基于 DEA 的我国资源型企业科技创新绩效评价研究[J]. 科研管理, 2015, 36 (10) :28-34.

[25]ZOLTAN J A, LUC A, ATTILA V. Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge [J]. Research Policy, 2002 (31) :1069-1085.

-
- [26] 范建平, 连嘉琪, 吴美琴. 中国区域科技创新效率研究——基于三阶段 EBM-Window 模型[J]. 中国科技论坛, 2019, 35(11): 113-122.
- [27] 史庆斌, 谢永顺, 韩增林, 等. 东北城市间旅游经济联系的空间结构及发展模式[J]. 经济地理, 2018, 38(11): 211-219.
- [28] 顾伟男, 申玉铭. 我国中心城市科技创新能力的演变及提升路径[J]. 经济地理, 2018, 38(2): 113-122.
- [29] DANDAN L, YE HUA D W, TAO W. Spatial and temporal evolution of urban innovation network in China [J]. Habitat International, 2015(49): 484-496.
- [30] 约翰·斯科特. 社会网络分析法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011.
- [31] 朱晓菊. 教育类微群知识建构特征的社会网络分析[J]. 电化教育研究, 2014, 34(6): 85-89.
- [32] 许培源, 吴贵华. 粤港澳大湾区知识创新网络的空间演化——兼论深圳科技创新中心地位[J]. 中国软科学, 2019, 34(5): 68-79.
- [33] 刘军. 社会网络分析导论[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.
- [34] 马述忠, 任婉婉, 吴国杰. 一国农产品贸易网络特征及其对全球价值链分工的影响——基于社会网络分析视角[J]. 管理世界, 2016, 32(3): 60-72.
- [35] 王少剑, 高爽, 黄永源, 等. 基于超效率 SBM 模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1316-1330.
- [36] 孙志红, 吴悦. 财政投入、银行信贷与科技创新效率——基于空间 GWR 模型的实证分析[J]. 华东经济管理, 2017, 31(4): 74-81.
- [37] 狄乾斌, 王萌, 张健. 基于 GWR 模型的中国生产性服务业空间差异的影响因素分析[J]. 软科学, 2015, 29(7): 21-24.
- [38] 庞瑞秋, 腾飞, 魏治. 基于地理加权回归的吉林省人口城镇化动力机制分析[J]. 地理科学, 2014, 34(10): 1210-1217.